## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Обзорная статья
УДК 53.089.68:621.867.1/.3
https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-107-123

# Методы калибровки и поверки дозаторов весовых непрерывного действия и конвейерных весов

Д. С. Замятин

Уральский научно-исследовательский институт метрологии –
филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», г. Екатеринбург, Россия
lab261@uniim.ru

**Аннотация:** Субъекты хозяйственной деятельности в большинстве отраслей экономики применяют в качестве средств измерений массы дозаторы весовые непрерывного действия и конвейерные весы, точность работы которых напрямую зависит от метрологической прослеживаемости. Однако многие предприятия не могут осуществлять поверку данных средств измерений из-за сложности процедуры в условиях реального производства. Следовательно, возникает необходимость совершенствования подходов к передаче единицы массы дозаторам весовым непрерывного действия и конвейерным весам.

Цель представленного обзора – проанализировать основные методы передачи единицы массы данным средствам измерений, разобрать их преимущества и недостатки, описать, как различные условия влияют на точность измерений.

Автор проанализировал данные модуля «Поверка» подсистемы «Аршин» Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (ФГИС «Аршин» ФИФ ОЕИ) за 2020–2024 годы и выявил рост популярности использования конвейерных весов в качестве учетных средств измерений, несмотря на сложность проводимой процедуры. Указанный тренд подтверждает значимость метрологического обеспечения работоспособности и точности этих устройств.

В фокусе исследования – шесть методов калибровки и поверки дозаторов весовых непрерывного действия и конвейерных весов. В частности, рассмотрен метод, с реализацией которого связана профессиональная деятельность автора,– метод, основанный на использовании эталона единицы массы 5-го разряда. В итоге выявлены его преимущества в сравнении с другими методами: а) может применяться на любых дозаторах весовых непрерывного действия и конвейерных весах; б) значительно проще пересыпания; в) учитывает все установленные влияющие факторы; г) обеспечивает достоверность при прослеживаемости к Государственному первичному эталону единицы массы ГЭТ 3–2008.

Также обнаружены и слабые места, устранение которых необходимо для дальнейшего совершенствования подхода, а именно: в настоящее время метод применим для дозаторов весовых непрерывного действия и конвейерных весов с относительной погрешностью 1 % и более.

Выводы обзора могут дать основания метрологам для выбора наиболее оптимальных методов калибровки и поверки дозаторов и конвейерных весов, и в этом – практическая значимость исследования. Научная значимость заключается в том, что сформулированы предложения по улучшению качества и достоверности измерений и расширению применения дозаторов непрерывного действия и конвейерных весов.

© Замятин Д. С., 2025

**Ключевые слова:** дозаторы непрерывного действия, поверка, калибровка, линейная плотность, эталон массы, конвейерные весы

**Для цитирования:** *Замятин Д. С.* Методы калибровки и поверки дозаторов весовых непрерывного действия и конвейерных весов // Эталоны. Стандартные образцы. 2025. Т. 21, № 3. С. 107–123. https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-107-123

Статья поступила в редакцию 07.07.2025; одобрена после рецензирования 09.09.2025; принята к публикации 25.09.2025.

## MODERN METHODS OF ANALYSIS OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Review Article

# Calibration and Verification Methods for Continuous Weighing Batchers and Conveyor Scales

Denis S. Zamyatin

UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, Yekaterinburg, Russia

lab261@uniim.ru

**Abstract:** Business entities across nearly all economic sectors use continuous weighing batchers and conveyor scales as mass measuring instruments. The accuracy of these instruments directly depends on metrological traceability. However, many enterprises are unable to perform verification of these measuring instruments due to the complexity of the procedure in real production conditions. Consequently, there is a need to improve approaches for transferring a unit of mass to conveyor scales and continuous weighing batchers.

The purpose of this review is to analyze the primary methods for transferring the unit of mass to these measuring instruments, examine their advantages and disadvantages, and describe how various conditions influence measurement accuracy.

The author analyzed data from the Verification module of the Arshin subsystem, which is part of the Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements (FGIS Arshin of the FIF UEM) for the period 2020–2024. The analysis revealed a growing trend in the use of conveyor belt scales as accounting measuring instruments, despite the complexity of the verification procedure. This trend confirms the critical importance of metrological assurance for the operational reliability and accuracy of these devices.

The study focuses on six calibration and verification methods for conveyor scales and continuous weighing batchers. In particular, a method in which the author has professional involvement is considered – the method based on the use of a 5th-class mass standard. As a result, its advantages compared to other methods have been identified: a) it can be applied to any conveyor scales and batchers; b) it is significantly simpler than pouring; c) it accounts for all the established influencing factors; d) it ensures reliability with traceability to the State Primary Standard for the unit of mass GET 3–2008.

Furthermore, some limitations have been identified, the elimination of which is necessary for further improvement of the approach. Specifically, the method is currently applicable only to conveyor scales and batchers with a relative error of 1 % or greater.

The conclusions of the review can provide metrologists with a basis for selecting the most optimal calibration and verification methods for batchers and conveyor scales, which constitutes the practical significance of the study. The scientific significance lies in the formulation of proposals for improving the quality and reliability of measurements and expanding the application of continuous weighing batchers and conveyor scales.

**Keywords:** continuous batchers, verification, calibration, linear density, mass standard, conveyor scales

**For citation:** Zamyatin D. S. Calibration and verification methods for continuous weighing batchers and conveyor scales. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2025;21(3):107–123. (In Russ.). https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-107-123

The article was submitted 07.07.2025; approved after reviewing 09.09.2025; accepted for publication 25.09.2025.

## Введение

Российская Федерация обладает обширными ресурсами горючих ископаемых, которые составляют экономическую основу формирования доходной части федерального бюджета. Оценка объемов добытых ресурсов, как правило, осуществляется с использованием весоизмерительного оборудования конвейерного типа. Производство таких систем демонстрирует устойчивый рост как в Московской области[1], так и в других регионах страны[2] [1–3].

В условиях автоматизированной загрузки и разгрузки значительных объемов компонентов и сыпучих материалов [4], как правило, используются конвейеры [5] и интегрированные системы измерений массы, которые включают дозаторы весовые непрерывного действия [6–8] (далее по тексту – дозаторы) и конвейерные весы [9–12].

Конвейерные весы – основное оборудование в различных отраслях промышленности, не только в горнодобывающей, перерабатывающей, пищевой. Они обеспечивают точные измерения массы проходящих по транспортной ленте материалов, что позволяет (а) производить учет массы перед отгрузкой продукции в грузовые автомобили, железнодорожные вагоны и контейнеры; (б) контролировать и оптимизировать производственные процессы на различных этапах производства, например, ведя учет сырья, поступающего в дробилки, бункера, мельницы и пр.

В современной индустрии непрерывного промышленного производства дозирующие устройства служат для обеспечения качества и эффективности технологических процессов. В таких критически важных отраслях, как химическая, пищевая [13], фармацевтическая, аграрная [14] и строительная промышленность [15, 16], эти устройства обеспечивают точное дозирование материалов в заданном соотношении для поддержания высоких стандартов качества продукции и строгого соблюдения технологических регламентов. Точность функционирования дозаторов напрямую влияет на характеристики конечного продукта, а также на эффективность использования сырьевых ресурсов. Неправильная работа дозаторов может привести к серьезным последствиям, включая ухудшение качества продукции, увеличение производственных затрат и снижение экономической эффективности.

Если конвейерные весы и дозаторы используются в качестве учетных устройств (например, для фасовки материалов в мешки или засыпки в транспортные средства), они подлежат обязательной поверке в соответствии с требованиями Федерального закона № 102-ФЗ[3].

Таким образом, точность и надежность работы дозаторов становятся ключевыми факторами, определяющими качество, экономичность и эффективность промышленного

[1] Подмосковный производитель весоизмерительной техники увеличит выработку на 11 %. Режим доступа: https://riamo.ru/news/ekonomika/podmoskovnyj-proizvoditel-vesoizmeritelnoj-tehniki-uvelichit-vyrabotku-na-11/?from=inf_cards (дата обращения: 01.05.2025).

[2] Башкирский завод весового оборудования ускорил производство дозаторов. Режим доступа: https://bv02.info/news/novosti/2024–03–05/bashkirskiy-zavod-vesovogo-oborudovaniya-uskoril-proizvodstvo-dozatorov-3669321 (дата обращения: 01.05.2025).

[3] Об обеспечении единства измерений : Федер. закон Рос. Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ.

производства. Контроль этих параметров должен осуществляться на всех этапах производственного цикла, чтобы обеспечить высокое качество конечной продукции и минимизировать риски, связанные с неправильной дозировкой материалов.

Основными метрологическими характеристиками качества весоизмерительного оборудования являются производительность, линейная плотность и точность процедуры взвешивания [16–18]. Метрологическое обеспечение методов поверки дозаторов (конвейерных весов) регламентировано ГОСТ 8.469–2002 (ГОСТ 8.005–2002)[4].

Однако процедура проведения поверки промышленных средств измерений требует пересыпания десятков тонн материала, что приводит или к невозможности применения данного метода, или к его чрезмерной трудоемкости и материальным затратам на длительную остановку конвейеров и всего производственного цикла. Необходимость устранения перечисленных проблем вызвала активное развитие методов и подходов к поверке весовых систем [19–23] в области метрологии измерений больших масс. В число перспективных направлений в настоящее время вошли исследования методов передачи единиц массы на большегрузные весы с использованием силовоспроизводящих машин в качестве эталонов единиц силы [24], методы поверки и калибровки большегрузных весов [25–29].

Цель представленного обзора – провести сравнительный анализ и систематизацию подходов методов калибровки и поверки дозаторов и конвейерных весов, а также описать, как различные условия влияют на точность измерений.

Для достижения цели предстоит:

– изучить теоретические основы применения различных видов дозаторов в промышленной сфере;

– проанализировать и оценить применяемые в РФ методы калибровки и поверки конвейерных весов и дозаторов;

– определить факторы, влияющие на передачу единицы массы конвейерным весам и дозаторам;

– установить метрологическую прослеживаемость единицы массы конвейерным весам и дозаторам до единиц SI, уточнив, какие методы обеспечивают достоверную прослеживаемость к вышестоящим эталонам единиц массы.

## Материалы и методы

### *Методология обзора*

Материалом для исследования послужили публикации в отечественной научной литературе (научных журналах и материалах научных конференций) и информационных поисковых (Google Scholar) и библиографических базах данных (eLIBRARY.RU, КиберЛенинка) с глубиной охвата до 2000 г. В обзор включали публикации, доступные на 01.05.2025. Наиболее употребительные ключевые слова и выражения для поиска публикаций и информации: дозаторы непрерывного действия, поверка и калибровка дозаторов, конвейерные весы, поверка и калибровка конвейерных весов. При необходимости были изучены списки литературы статей, принятых в качестве особо значимых.

Для оценки востребованности метрологических услуг в области весоизмерительного оборудования пользовались данными модуля «Поверка» подсистемы «Аршин» Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (ФГИС «Аршин» ФИФ ОЕИ). В обзор включали сведения о поверке средств измерений «дозаторы непрерывного действия» и «конвейерные весы» за период 2020–2024 гг.

### *Теоретические основы применения дозаторов и конвейерных весов*

*Назначение дозаторов* – непрерывное дозирование определенного количества материала (например, порошка, гранул) на выходе из дозатора. Принцип работы этих устройств основан на измерении массы проходящего через устройство материала и последующем управлении скоростью транспортерной ленты в соответствии с заданной производительностью [25, 30–32].

К дозирующим устройствам предъявляют следующие требования [33]:

[4] ГОСТ 8.469-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы автоматические весовые непрерывного действия. Методика поверки. ГОСТ 8.005-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы непрерывного действия конвейерные. Методика поверки.

– соответствие подачи дозируемого материала установленным параметрам;

– высокая точность дозирования;

– надежность системы автоматического регулирования;

– наличие приборов, показывающих величину регулируемого параметра и суммарное количество материала, прошедшего через дозатор;

– удобство обслуживания и высокая надежность в эксплуатации;

– соответствие конструктивного оформления основных и вспомогательных узлов физико-механическим свойствам дозируемых материалов.

*Назначение конвейерных весов* связано с измерением массы продукции. Представляют собой автоматизированную систему взвешивания, которая позволяет определять массу груза в движении без остановки производственного процесса. Конструктивно встраиваются в ленточные транспортеры.

Производственные функции конвейерных весов:

– общий контроль массы продукции: измеряя вес сырья и готовой продукции в потоке, значительно автоматизируют и ускоряют процесс взвешивания;

– учет материалов: автоматически фиксируют количество перемещаемого груза на всех этапах производства и передают данные в систему управления для контроля расхода;

– контроль загрузки транспорта: определяют массу перед погрузкой в вагоны, контейнеры, грузовики, предотвращая перегруз или недогруз;

– маркировка и учет данных: интегрируются с принтерами и системами маркировки для нанесения весовой информации на упаковку или груз.

Отраслевая специфика конвейерных весов:

– горнодобывающая промышленность: учет руды, известняка, угля;

– металлургия: контроль подачи шихты, окатышей, флюсов;

– химическая промышленность: дозировка и учет сырья;

– цементные заводы и стройиндустрия: учет компонентов цементных смесей;

– сельское хозяйство: контроль веса зерна, комбикорма, муки;

– энергетика: учет подачи топлива;

– пищевая промышленность: контроль веса сырья и готовой продукции.

Преимущества использования конвейерных весов:

– высокая точность измерений (погрешность до 0,5 %);

– автоматизация процессов учета;

– работа без остановки производства;

– исключение человеческого фактора;

– возможность интеграции с системами управления;

– снижение потерь и перерасхода материалов;

– повышение прозрачности производственных процессов.

Технические требования при работе с конвейерными весами строги в отношении:

– состояния конвейерной ленты, особенно на длинных конвейерах и подвергнутых ремонту;

– натяжения конвейерной ленты;

– однородности подачи порций материала для взвешивания.

### *Критерии точности измерений массы*

Точность измерений массы – ключевой показатель – зависит от множества факторов, включая вибрации во время процесса. Анализ методов и устройств для непрерывного измерения массы сыпучих материалов выявил основные факторы, влияющие на снижение точности дозирования:

– динамические воздействия на весоизмерительное оборудование [34, 35];

– неоднородность подачи материала, транспортируемого из питателя на ленту весового транспортера [36];

– негативное воздействие вибраций в процессе дозирования [37];

– специфические факторы, характерные для отдельных отраслей, оказывающие влияние на процесс дозирования [38].

### *Практика применения дозаторов*

ФГИС «Аршин» ФИФ ОЕИ в 2025 г. содержит сведения о средствах измерений (СИ):

– 66 единиц СИ типа «дозаторы непрерывного действия»;

– 90 единиц СИ типа «конвейерные весы».

Анализ данных (рис. 1) позволяет сделать вывод о росте популярности использования

конвейерных весов в качестве учетных СИ, несмотря на всю сложность проводимой процедуры, что говорит о значимости поддержания работоспособности и точности этих устройств. Регулярные поверки и техническое обслуживание позволяют обеспечивать соответствие установленным требованиям и минимизировать влияние негативных факторов на процесс взвешивания материала и его дозирования.

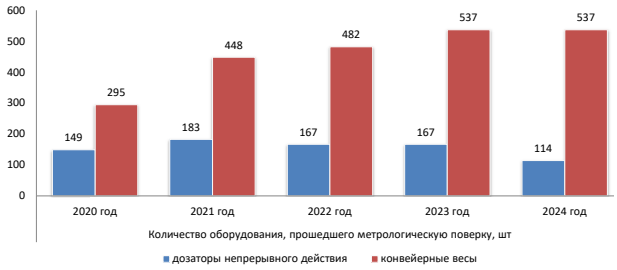


Рисунок подготовлен автором по собственным данным / The figure is prepared by the author using their own data

Рис. 1. Сведения о проведенных поверках дозаторов и конвейерных весов по данным модуля «Поверка» ФГИС «Аршин» ФИФ ОЕИ

Fig.1. Information on conducted verifications of batchers and conveyor scales according to the data of the Verification module of the FGIS Arshin of the FIF EUM

## Результаты и обсуждение

### *Анализ способов передачи единицы массы*

Рассмотрим основные способы передачи единицы массы с проведением анализа причин, влияющих на результаты поверки дозаторов и конвейерных весов.

Продолжительное время процедура калибровки и поверки конвейерных весов и дозаторов осуществлялась исключительно с применением контрольных проб[5]. При всей эффективности данный метод трудоемок в гигантских масштабах промышленных СИ.

Оптимизировать процесс позволяли дополнительные методики, которые, не обеспечивая абсолютной достоверности контроля, отличаются простотой в реализации и позволяют осуществлять настройку дозаторов и конвейерных весов при условии учета всех значимых влияющих факторов. Важно отметить, что такие факторы в каждом конкретном случае передачи единицы массы могут оказывать влияние:

– либо незначительное, внося минимальный вклад в погрешность и неопределенность измерений;

– либо значительное, что может привести к недостоверным результатам контроля массы.

### *Анализ методов калибровки и поверки конвейерных весов и дозаторов*

Рассмотрим детально наиболее распространенные методы калибровки и поверки дозаторов. При подготовке сравнительного анализа для большей наглядности результатов автор присвоил каждому методу калибровки и поверки дозаторов и конвейерных весов порядковый номер:

№ 1. Метод перевеса контрольной пробой;

№ 2. Метод калибровки тензодатчика;

№ 3. Метод нагружения тензодатчика при помощи дополнительных грузов;

№ 4. Метод съема сыпучего материала с весоизмерительного участка;

№ 5. Метод использования имитаторов линейной плотности;

№ 6. Метод использования эталона единицы массы 5-го разряда.

**№ 1. Метод перевеса контрольной пробой** является самым популярным и достоверным способом контроля дозаторов и конвейерных весов.

Поверка дозаторов осуществляется по ГОСТ 8.469-2002. Для подтверждения основных метрологических характеристик используются три контрольных пробы с применением устройства для отбора проб, включая пробы при наибольшем и наименьшем пределах производительности. Продолжительность отбора каждой пробы составляет (6,00 ± 0,25) мин. Действительное значение массы контрольной пробы определяют на весах неавтоматического действия по ГОСТ OIML R76–1[6], при этом погрешность определения действительного значения массы контрольной пробы должна быть не менее чем в три раза точнее

[5] МП 125-261-2021 «ГСИ. Дозаторы весовые автоматические непрерывного действия транспортные 4488ДН-У. Методика поверки».

[6] ГОСТ OIML R76-1-2-11 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания.

пределов допускаемой погрешности рабочих СИ (дозаторов).

Значения приведенной погрешности вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{Q_3 \cdot T_i - 60 \cdot G_i}{Q_{\text{НПП}} \cdot T_i} \cdot 100, \quad (1)$$

где $\delta$ – значение приведенной погрешности, %; $Q_3$ – заданное значение производительности, кг/ч; $T_i$ – действительное значение времени отбора $i$-й контрольной пробы, мин; $G_i$ – действительное значение массы $i$-й контрольной пробы, кг; $Q_{\text{НПП}}$ – значение наибольшего предела производительности дозатора, кг/ч.

Поверка конвейерных весов производится по ГОСТ 8.005–2002[7]. Принцип проведения операций схож с описанной выше процедурой поверки дозаторов. Имеющиеся отличия: используются три контрольные пробы для трех значений линейной плотности (нагрузки, создаваемой материалом на 1 м транспортерной ленты), близких к наименьшему, наибольшему и среднему значениям, а вычисление относительной погрешности весов осуществляют по формуле

$$\delta = \frac{G_{Сч} - G}{G} \cdot 100, \quad (2)$$

где $\delta$ – значение относительной погрешности конвейерных весов, %; $G_{Сч}$ – разность показаний суммирующего устройства весов после окончания и перед началом отбора пробы, кг; $G$ – действительное значение массы пробы, кг.

*Преимущества метода.* Данные способы поверки/калибровки воспроизводят условия, максимально близкие к производственной практике, при этом контроль массы осуществляется при различных нагрузках, что повышает достоверность контроля.

*Недостатки метода.* Техническая сложность реализации данных способов: для промышленных СИ контрольная проба измеряется в десятках тонн. Например, при наибольшем пределе производительности дозатора в 1 000 т/ч масса пробы составит 100 т. При этом, сами дозаторы (или конвейерные весы) могут располагаться в середине производственного цикла, что либо серьезно затрудняет использование данного способа поверки, либо делает его невозможным.

**№ 2. Метод калибровки тензодатчика.** Для реализации данного способа конвейерные весы или дозаторы подвергаются частичному демонтажу весоизмерительных тензодатчиков, предназначенных для непосредственного преобразования оказываемой на датчик нагрузки в единицы массы. Затем весоизмерительные тензодатчики вместе с заводским контроллером перевозят в испытательную лабораторию. Там тензодатчики нагружают на эталонных силоизмерительных машинах, вычисляя их относительную погрешность по формуле

$$\delta = \frac{F_\partial - F}{F} \cdot 100, \quad (3)$$

где $\delta$ – значение относительной погрешности тензодатчика, %; $F_\partial$ – показания тензодатчика, кг; $F$ – показания эталонной силоизмерительной машины (в случае, если машина имеет вывод показаний только в Ньютонах, производят перерасчет в единицы массы, умножая показания на ускорение свободного падения $g = 9{,}81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$), кг.

*Преимущества метода.* В сравнении с методом № 1, значительно проще в реализации и менее трудозатратен.

*Недостатки метода.* Метод не учитывает большое количество влияющих факторов, а именно – состояние транспортерной ленты конвейера или дозатора и уровня ее натяжения. Не осуществляется контроль за правильностью показаний датчика скорости движения транспортерной ленты, правильностью установки тензодатчика и многие другие влияющие факторы. Например, транспортерная лента в идеальном состоянии не дает ощутимых вкладов в погрешность измерения массы, тогда как лента, сочлененная при помощи металлических пластин, заклепок и болтов, приводит к значительному повышению погрешности измерения массы даже при хорошо настроенных тензодатчиках. Совокупность перечисленных факторов не позволяет произвести оценку достоверности

[7] ГОСТ 8.005-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы непрерывного действия конвейерные. Методика поверки.

контроля данного метода, то есть для проведения поверки данный метод не применим. Он применяется редко и только для конвейерных весов и дозаторов, где другие способы контроля затруднены или невозможны и точность измерения массы – не приоритет. Кроме того, метод не учитывает дополнительные влияющие факторы на месте проведения работ: температуру и влажность воздуха; вибрации, возникающие в точке установки дозаторов или конвейерных весов.

**№ 3. Метод нагружения тензодатчика при помощи дополнительных грузов.** Некоторые производители конвейерных весов или дозаторов в качестве дополнительного метода контроля усовершенствовали метод № 2: на рабочих СИ предусмотрели место для нагружения весоизмерительного модуля эталонной гирей или другим грузом. Реализацией данного метода может быть:

– обычная площадка, куда можно поставить несколько гирь, например, по 20 кг;

– специально разработанные системы: например, в конвейерных весах ВКР10 предусмотрено использование рычага, который напрямую нагружает тензодатчик. При этом используются грузы небольшой массы, но из-за применения рычага нагрузка создается значительная, что дает возможность провести измерения практически во всем диапазоне работы конвейерных весов.

Принцип расчета погрешности зависит от конкретной реализации данного метода, поэтому формула вычисления погрешности не будет приведена. Метод реализуется следующим образом:

– грузоприемное устройство весов и дозаторов (или непосредственно тензодатчики) нагружают гирей или грузом ➔ запускают транспортерную ленту ➔ через некоторое время ленту останавливают ➔ производят вычисления погрешности, опираясь на расчетное показание массы (из-за создаваемой нагрузки) и фактически полученные результаты.

*Преимущества метода.* В сравнении с методом № 1 данный метод относительно прост в реализации. В сравнении с методом № 2 разбор весов не производится и устраняется влияющий фактор правильности монтажа тензодатчика. При проведении работ транспортерная лента работает на холостом ходу, что позволяет минимально учитывать ее состояние.

*Недостатки метода.* Не учитывается большое количество влияющих факторов: калибровка осуществляется при работающей, но ненагруженной транспортерной ленте. Для транспортерной ленты со множественными сочленениями металлическим крепежом эффективность калибровки данным методом мала: такая лента под нагрузкой реальным продуктом создает ударные нагрузки на весоизмерительном участке конвейерных весов (либо дозаторов), что приводит к существенному увеличению фактической погрешности измерения (зачастую выше 1–2 % от измеренной массы). Кроме того, при пустой транспортерной ленте данный метод калибровки может дать результат измерения погрешности в пределах 0,5 %, что делает метод не применимым для достоверного контроля пройденной массы.

**№ 4. Метод съема сыпучего материала с весоизмерительного участка** преимущественно используется для калибровки конвейерных весов и будет рассмотрен только для данной процедуры. Метод реализуется следующим образом:

– конвейер останавливают при транспортировке продукта с линейной плотностью, близкой к минимальной (измеряют конвейерными весами) ➔ фиксируют показания линейной плотности продукта ➔ рулеткой измеряют расстояние в 500 ± 2 мм с обеих сторон от весоизмерительного ролика ➔ с помощью специальных приспособлений осуществляют съем всего продукта ➔ снятый продукт взвешивают на контрольных весах.

Поскольку снимается 1 м продукта, то данная масса приравнивается к линейной плотности фактически измеренного материала. Далее производят расчет относительной погрешности работы конвейерных весов $\delta$, % по формуле

$$\delta = \frac{ЛП_ф - ЛП_к}{ЛП_ф} \cdot 100, \qquad (4)$$

где $\delta$ – относительная погрешность работы конвейерных весов, %; $ЛП_к$ – линейная плотность продукта $ЛП_к$, кг/м; $ЛП_ф$ – линейная плотность фактически измеренного материала, кг/м.

Затем данные операции производят также для линейной плотности продукта, близкой к среднему и максимальному значениям работы конвейерных весов.

*Преимущества метода.* Калибровка производится на конвейере, заполненном реальным продуктом, и контроль осуществляется в различных точках нагрузки. Метод значительно менее трудозатратен, чем метод № 1, и учитывает влияющие факторы лучше, чем методы № 2 и № 3.

*Недостатки метода.* Контроль осуществляется при фактической работе конвейерных весов в рабочих условиях, однако измерение 1 м длины всей конвейерной ленты существенно снижает достоверность передачи единицы массы. В применении к транспортерной ленте со множественными сочленениями металлическим крепежом многократно возрастает погрешность измерений конвейерных весов (аналогично недостаткам метода № 3). Кроме того, если на предприятии присутствуют дополнительно создаваемые вибрации (например, от другого оборудования), то съем материала дополнительно затруднен и может быть выполнен с дополнительной погрешностью.

**№ 5. Метод использования имитаторов линейной плотности.** Распространен для первичной настройки конвейерных весов и дозаторов. Значительно более достоверен, чем методы №№ 2–4.

Для передачи единицы массы используют различные имитаторы линейной плотности (далее ИЛП): роликовые цепи, резинотканевую ленту на шариковых подшипниках, цепь из тележек (рис. 2) и др.

Предварительно на платформенных статических весах измеряют длину ИЛП. Затем вычисляют значение линейной плотности по формуле

$$\rho = \frac{M}{L}, \qquad (5)$$

где ρ – значение линейной плотности, кг/м; $M$ – полная масса ИЛП, взвешенная на весах, кг; $L$ – длина ИЛП, измеренная рулеткой, м.

Далее ИЛП размещают на весоизмерительной зоне дозаторов или конвейерных весов, фиксируя с помощью тросов, чтобы при движении транспортерной ленты ИЛП оставался неподвижным. Приводят в движение транспортерную ленту и через три полных оборота ленты производят расчет относительной погрешности по приведенным ниже формулам:

– для вычисления относительной погрешности дозаторов весовых непрерывного действия:

$$\delta = \frac{Q_З \cdot T_i - \rho \cdot L_Д \cdot N}{Q_{НПП} \cdot T_i} \cdot 100, \qquad (6)$$

где $\delta$ – значение приведенной погрешности, %; $Q_З$ – заданное значение производительности, кг/ч; $T_i$ – действительное значение времени имитации потока $i$-й контрольной точки, мин; $L_Д$ – длина ленты дозатора, м; $N$ – число оборотов ленты; $Q_{НПП}$ – значение наибольшего предела производительности дозатора, кг/ч;

– для вычисления относительной погрешности конвейерных весов:

$$\delta = \frac{M_{СЧ} - \rho \cdot V \cdot t}{\rho \cdot V \cdot t} \cdot 100, \qquad (7)$$

где $\delta$ – значение относительной погрешности конвейерных весов, %; $M_{СЧ}$ – разность показаний суммирующего устройства весов после окончания и перед началом отбора пробы, кг; $V$ – скорость движения конвейерной ленты, м/с; $t$ – время проведения измерений, с.

Достоверности передачи единицы массы добиваются, применяя несколько ИЛП с создаваемыми нагрузками, близкими к минимальной, средней и максимальной линейной плотности (производительности) рабочих СИ.

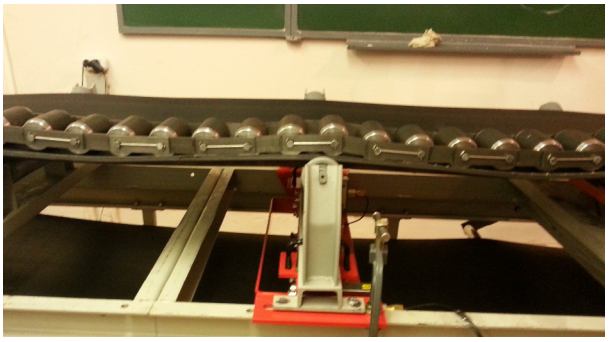

Рисунок подготовлен автором по собственным данным / The figure is prepared by the author using their own data

Рис. 2. Калибровочные цепи фирмы Siemens Canada Limited, Канада

Fig. 2. Calibration chains from Siemens Canada Limited, Canada

*Преимущества метода.* Создаются близкие к рабочим условия. При проведении измерений происходит несколько оборотов ленты транспортера, что позволяет учитывать состояние всей ленты. Проведение процедуры не требует наличия тонн материала и вспомогательной техники (автомобилей, вагонов, экскаваторов).

*Недостатки метода.* Отсутствие контроля влияющих факторов, которые могут быть значимыми, в их числе – сила трения, которую ИЛП создает при работающей транспортерной ленте. Так, на рис. 3 приведен ИЛП, который при работе в динамике быстро забивался грязью, вследствие чего возникало большое трение между ИЛП и транспортерной лентой. В итоге разница между теоретическим значением линейной плотности и практической нагрузкой, создаваемой на весы, превышала 5 %. Даже в отсутствие у ИЛП подобных дефектов разница между теоретически вычисленным значением линейной плотности (формула (5)) и фактически найденным значением на эталонных конвейерных весах в динамическом режиме (см. метод № 6) составляет от 0,3 до 2 % в зависимости от конструкции имитатора.

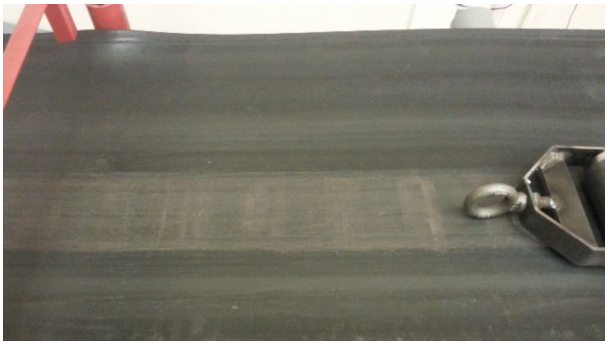

Рисунок подготовлен автором по собственным данным / The figure is prepared by the author using their own data

Рис. 3. Конвейерная лента со следами от имитатора линейной плотности, имеющего большое трение

Fig. 3. A conveyor belt with marks from a linear density simulator having high friction

**№ 6. Метод использования эталона единицы массы 5-го разряда**[8]. Устранить проблемы в применении ИЛП (метод № 5) призван альтернативный способ передачи единицы массы. Метод предусматривает получение основных метрологических характеристик ИЛП (включая линейную плотность ρ) не в статическом режиме при помощи рулетки и весов, а на специально разработанном многофункциональном испытательном стенде конвейерного типа МИСКТ-1 в динамическом режиме (рис. 4). Более подробно устройство эталона, принципы его действия и передачи единицы массы рассмотрены в статье [10].

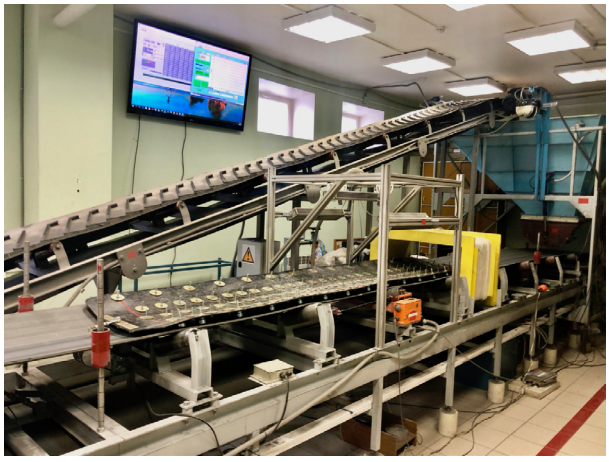

Рисунок подготовлен автором по собственным данным / The figure is prepared by the author using their own data

Рис. 4. Эталон единицы массы 5-го разряда и МИСКТ-1

Fig. 4. A 5th-class mass standard and MISCT-1

Процедура калибровки (и поверки) конвейерных весов и дозаторов непрерывного действия полностью аналогичны методу № 5.

*Преимущества метода.* Метод позволяет учитывать все выявленные значимые влияющие факторы, поэтому он был добавлен в ГПС массы[9] и может применяться при поверке конвейерных весов или дозаторов. Метод также учитывает климатические факторы (аттестация эталона производилась при различных уровнях температуры и влажности ИЛП).

*Недостатки метода.* Отсутствие эталона единицы массы 5-го разряда с относительной погрешностью 0,15 %. В настоящее время существуют только эталоны с относительной погрешностью 0,3 %, передающий единицу массы для конвейерных весов и дозаторов с относительной погрешностью 1 % и более.

[8] Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) от 4 июля 2022 г. № 1622.

[9] Там же.

## Заключение

В условиях растущей автоматизации производства и увеличения числа дозаторов и конвейерных весов повышение точности измерений становится критически важным. В совокупности планомерные поверки и калибровки, учет всех влияющих на взвешивание и дозирование факторов обеспечивают соответствие ФЗ-102 и снижают риски для качества метрологической работы. В рамках настоящего исследования был проведен детальный сравнительный анализ различных методов калибровки и поверки дозаторов и весоизмерительных систем.

Информация по всем рассмотренным методам передачи единицы массы обобщена в табл. 1.

Профессиональная деятельность автора связана с реализацией метода № 6, основанного на использовании эталона единицы массы 5-го разряда[10]. Завершая обзор, метод № 6 представлен в сравнении с описанными в статье методами.

[10] Государственный эталон единицы массы 5 разряда для весов непрерывного действия с диапазоном измерения массы свыше 100 кг, диапазоном измерения производительности свыше 500 кг/ч, диапазоном линейной плотности от 10 до 250 кг/м.

Таблица 1. Сводная информация о методах передачи единицы массы

Table 1. Summary of mass unit transfer methods

| Метод | Преимущества (основные) | Недостатки (основные) | Влияющие факторы, которые метод не учитывает | Обеспечение достоверной прослеживаемости к ГЭТ-3 |
|---|---|---|---|---|
| № 1. Метод перевеса контрольной пробой | Условия, максимально близкие к производственной практике | Ресурсоемкий (вес контрольных проб – до 100 т) | Учитывает все установленные влияющие факторы | Да |
| № 2. Метод калибровки тензодатчика | Не требует применения контрольной пробы | Учтены не все влияющие факторы; требуется эталон единицы силы (силоизмерительная машина); требуется продолжительная остановка оборудования; данная прослеживаемость является косвенной и неполной для всего СИ в сборе | Состояние конвейерной ленты; правильность установки тензодатчика | Прямую прослеживаемость не обеспечивает |
| № 3. Метод нагружения тензодатчика при помощи дополнительных грузов | Проста и высокая скорость; учитывается влияние движения пустой конвейерной ленты | Учтены не все влияющие факторы; подходит только к конвейерным весам, где производитель предусмотрел данный метод; данная прослеживаемость является косвенной и неполной для всего СИ в сборе | Состояние нагруженной конвейерной ленты | Прямую прослеживаемость не обеспечивает |

Окончание табл. 1
End of Table 1

| Метод | Преимущества (основные) | Недостатки (основные) | Влияющие факторы, которые метод не учитывает | Обеспечение достоверной прослеживаемости к ГЭТ-3 |
|---|---|---|---|---|
| № 4. Метод съема сыпучего материала с весоизмерительного участка | Относительная простота и высокая скорость | Учтены не все влияющие факторы | Не учитывает состояние большей части конвейерной ленты; большое влияние точности измеренной длины снимаемого участка | Прямую прослеживаемость не обеспечивает |
| № 5. Метод использования имитаторов линейной плотности | Может применяться на любых конвейерных весах и дозаторах; значительно проще пересыпания | Учтены не все влияющие факторы | Не учитывает силы, возникающие при использовании имитаторов в динамике (силу трения, реакцию опоры, качения и др.) | Прямую прослеживаемость не обеспечивает |
| № 6. Метод использования эталона единицы массы 5-го разряда | Может применяться на любых конвейерных весах и дозаторах; значительно проще пересыпания; учитывает все установленные влияющие факторы; обеспечивает достоверность при прослеживаемости к ГЭТ-3 | В настоящее время наилучшие эталоны имеют погрешность 0,3 %, что позволяет применять эталон только для поверки СИ с погрешностью 1 % и более | Учитывает все установленные влияющие факторы | Да |

Таблица составлена автором / The table is prepared by the author

Итак, методы, основанные на использовании имитатора линейной плотности в сочетании с эталоном массы 5-го разряда (метод № 6) и контрольной пробы (метод № 1) являются наиболее точными и надежными. Данные методы обеспечивают передачу единицы массы в условиях, максимально приближенных к реальным, и учитывают все значимые влияющие факторы.

Метод № 6 позволил учесть дополнительные параметры, не рассматриваемые при использовании традиционных имитаторов (метод № 5), что значительно повысило точность передачи единицы массы. Данный метод теперь допускается для поверки дозаторов и весов, расширив сферу применения метода.

Метод № 6 упростил процедуру поверки, расширив возможности для проведения испытаний в соответствии с ГОСТ 8.469–2002 и ГОСТ 8.005–2002, а также установив метрологическую прослеживаемость единицы массы до Международной системы единиц (SI),

что существенно повысило точность и надежность измерений.

Однако в настоящее время область применения метода № 6 ограничивается передачей единицы массы конвейерным весам и дозаторам, имеющим погрешность 1 % и более. В дальнейшем планируется провести усовершенствование метода и применяемых эталонов с целью передачи единицы массы более точным СИ, имеющим погрешность 0,5 % в различных производственных условиях.

Тем не менее, именно данный метод поверки, основанный на использовании эталона единицы массы 5-го разряда, заслуживает внимания прикладной науки. Имеющиеся преимущества позволяют тиражировать данный метод в промышленности и исследованиях, улучшая качество и достоверность измерений и расширяя применение дозаторов и весов.

**Вклад автора:** Автор подтверждает единоличную ответственность за следующее: сбор данных, анализ и интерпретацию результатов, а также подготовку рукописи.

**Contribution of the author:** The author confirms sole responsibility for the following: data collection, analysis and interpretation of results, and preparation of the manuscript.

**Благодарности:** Автор сердечно благодарит за предоставленные конструктивные замечания, способствовавшие улучшению содержания статьи, руководителя научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений массы и силы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» И. Ю. Шмигельского, а также уважаемых рецензентов. Автор глубоко признателен сотрудникам лаборатории метрологии магнитных измерений и неразрушающего контроля УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» за помощь в проведении работ. Автор глубоко чтит наследие М. А. Малыгина, основоположника данного направления деятельности. Автор признает фундаментальную значимость математической модели, положенной в основу описанного в статье метода использования эталона единицы массы 5-го разряда, разработанной уважаемыми коллегами С. В. Медведевских, П. М. Ароновым, В. А. Фирсановым.

**Acknowledgments:** The author expresses his sincere gratitude for the constructive feedback, which greatly contributed to improving the content of the article, to I. Yu. Shmigelsky, Head of the Research Laboratory of State Standards in the Field of Mass and Force Measurements, the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM), as well as the esteemed reviewers. The author is deeply grateful to the staff of the Laboratory of Magnetic Measurements and Non-Destructive Testing Metrology, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, for their assistance in conducting the research. The author profoundly honors the legacy of M. A. Malygin, the founder of this field of work. The author acknowledges the fundamental significance of the mathematical model underlying the method described the 5th-category mass unit standard described in the article, developed by respected colleagues S. V. Medvedevskikh, P. M. Aronov, V. A. Firsanov.

**Конфликт интересов:** Работа выполнена в рамках диссертационного исследования «Метод передачи единицы массы конвейерным весам и дозаторам непрерывного действия без использования контрольной пробы». Научный консультант: Шмигельский И. Ю., канд. техн. наук, руководитель научно-исследовательской лаборатории госэталонов в области измерений массы и силы ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». Об иных конфликтах интересов автор не заявлял.

**Conflict of interest:** The work was carried out within the dissertation research «Method of transferring a unit of mass to conveyor scales and continuous batchers without using a control sample». Scientific consultant: Shmigelsky I. Yu., Cand. Sci. (Eng.), Head of the Research Laboratory of State Standards in the Field of Mass and Force Measurements, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology. The author did not declare any other conflicts of interest.

**Финансирование:** Автор не получал финансовую поддержку для проведения исследования, авторства и публикации этой статьи.

**Funding:** The author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ


1. НПП «МЕТРА»: системы взвешивания и дозирования сыпучих материалов // Информатизация и системы управления в промышленности. 2024. № 5 (113). С. 9–12.
2. *Бучин И. Р.* Системы весового учета для горнодобывающей отрасли // Уголь. 2017. № 2 (1091). С. 18–19.
3. Требования к эталонам единицы силы, применяемым для поверки большегрузных весов / *И. Ю. Шмигельский* [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. № 18 (3). С. 5–16. https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16
4. Роль конвейеров в автоматической загрузке и разгрузке / *Г. Гиллиева* [и др.] // Символ науки. 2023. № 9–1. С. 75–77.
5. *Ильин Д. Д.* Конвейер, типы конвейеров и их особенности в производстве // Вестник науки. 2024. № 12–1 (81). С. 821–828.
6. *Пронин А. Н.* Классификация дозирующих устройств и их ключевая роль в производстве // Вестник НГИЭИ. 2023. № 9 (148). С. 43–50. https://doi.org/10.24412/2227-9407-2023-9-43-50
7. Комбинированная система управления дозатора непрерывного действия / *А. В. Илюхин* [и др.] // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2014. № 2 (37). С. 102–105.
8. *Фролов Н. В., Мосина Н. Н., Чилингарян Н. О.* Анализ параметров дозатора-смесителя непрерывного действия // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (26). С. 112–115.
9. *Алмасбаев С. С., Галин И. А.* Конвейерные весы как элемент системы управления технологического процесса предприятия // Форум молодых ученых. 2022. № 4 (68). С. 20–25.
10. Результаты исследований нового метода для метрологического обеспечения измерений массы на конвейерных весах / *П. М. Аронов* [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. № 16 (4). С. 5–16. https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-4-5-16
11. *Скрипка В. Л.* Корреляционная обработка сигналов – резерв повышения точности работы конвейерных весов // Приборы. 2016. № 11 (197). С. 26–29.
12. Термодинамические условия оптимального взвешивания на конвейерных весах / *В. А. Колесников* [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 1. С. 90–91.
13. *Прокофьев Е. А., Никольский А. Б.* Повышение качества работы автоматических дозаторов непрерывного действия для сыпучих пищевых материалов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1991. № 4–6 (203–205). С. 128–131.
14. *Андреев А. Н., Вдовкин С. В.* Процесс формирования потока семян и порошкообразных удобрений с применением дозатора непрерывного действия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (91). С. 96–100.
15. Автоматические ленточные дозаторы для производства цемента / *С. М. Абдурахмонов* [и др.] // Universum: технические науки. 2021. № 10–1 (91). С. 80–82.
16. Determination of the optimal speed of movement of the conveyor belt of the prototype weighing belt batcher / *D. Shilin* [et al.]. In: Vasant P., Zelinka I., Weber G.-W. Intelligent computing and optimization. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 855. Springer: Cham; 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50158-6_12
17. *Галин И. А.* Поверка многоканальных конвейерных весов непрерывного действия // Измерительная техника. 2016. № 1. С. 26–29.
18. *Донис В. К., Рачковский А. Е., Гудовская Н. Ю.* Состояние и перспективы разработки способов поверки конвейерных автоматических весов непрерывного действия // Измерительная техника. 2003. № 9. С. 28–32.
19. *Vardhan D. S. V. S., Narayan Y. S.* Development of an automatic monitoring and control system for the objects on the conveyor belt. In: International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI), Bhubaneswar, India, 2015. P. 1–6. https://doi.org/10.1109/MAMI.2015.7456594
20. *Мансур В., Першин В. Ф.* Разработка метода весового непрерывного дозирования сыпучих материалов и анализ его реализации // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2023. № 1 (754). С. 33–41. https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-33-41
21. *Донис В. К., Галин И. А.* Критерии оценки точности косвенного способа поверки конвейерных весов // Автоматика. Информатика. 2005. № 1–2 (16–17). С. 50–53.
22. *Донис В. К., Рачковский А. Е., Син В. М.* Оценка влияния длины конвейера на точность конвейерных весов // Измерительная техника. 2004. № 2. С. 33–36.
23. Требования к эталонам единицы силы, применяемым для поверки большегрузных весов / *И. Ю. Шмигельский* [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2022. Т. 18, № 3. С. 5–16. https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16
24. Дозатор – интегратор расхода с релейной системой управления / *Е. В. Марсова* [и др.] // Науковедение. 2015. Т. 7, № 5. С. 53TVN515.

25. *Galin I. A., Donis V. K.* Calibration of continuous conveyor-type weighers using reference weights without stoppage of the production process // Measurement Techniques. 2014. Vol. 57. P. 884–890. https://doi.org/10.1007/s11018-014-0554-5
26. Дистанционная калибровка динамических вагонных весов / *Э. Ю. Чистяков* [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 4. С. 103–111. https://doi.org/10.20295/2223-9987-2024-04-103-111
27. *Галин И. А., Донис В. К.* Поверка конвейерных весов непрерывного действия эталонными грузами без остановки технологического процесса // Измерительная техника. 2014. № 8. С. 27–31.
28. *Назаров В. Н., Павлов С. А.* Метрологическое обеспечение весоизмерительной техники // История науки и техники. 2010. № 9. С. 64–68.
29. *Явник П. М., Першина С. В., Першин В. Ф.* Моделирование процесса непрерывного весового дозирования // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18, № 4. С. 912–916.
30. Принципы организации связного дозирования многогокомпонентных смесей / *В. И. Марсов* [и др.] // Автоматизация и управление в технических системах. 2017. № 1 (22). С. 4.
31. Технологические возможности дазаторов с регулирование по производительности / *Ю. Э. Васильев* [и др.] // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 32–33.
32. *Рогинский Г. А.* Дозирование сыпучих материалов ; под ред. Б. И. Мордковича. М. : Химия, 1978. 124 с.
33. *Алсайяд Т. Х.* Весовое непрерывное дозирование сыпучих материалов: современное состояние и перспективы // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 7. С. 12–17.
34. *Алсайяд Т. Х. К., Першин В. Ф., Баранов А. А.* Совершенствование непрерывного весового дозирования при производстве и использовании углеродных наноматериалов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2018. Т. 24, № 2. С. 344–353.
35. *Борисов Н. А., Гематудинов Р. А., Марсов В. И.* Измерительная система дозаторов непрерывного действия // Человеческий капитал как фактор инновационного развития общества : сборник статей Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 11 апреля 2019 г. / Магнитогорск : ОМЕГА САЙНС, 2019. С. 23–27.
36. *Сечко Д. С.* Влияние вибраций на дозирующие устройства непрерывного действия // Молодость. Интеллект. Инициатива : Материалы II Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 17–18 апреля 2014 года / Витебск : Витебский государственный университет им. П. М. Машерова, 2014. С. 48–49.
37. *Поляков С. И., Ухин А. С., Челышев С. Г.* Автоматизация непрерывного дозирования компонентов бетонных смесей // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2020. № 2 (20). С. 27–32.
38. *Кравченко И. А., Ермолин А. Ю.* Факторы, влияющие на погрешность дозирования сыпучих материалов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2005. № 2 (130). С. 113а–117.

## REFERENCES

1. NPP «METRA»: weighing and dosing systems for bulk materials. *Informatizaciya i sistemy' upravleniya v promy'shlennosti*. 2024;5(113):9–12. (In Russ.).
2. Buchin I. R. Weight estimate systems for the mining industry. *Ugol'*. 2017;2(1091):18–19. (In Russ.).
3. Shmigelsky I. Yu., Andreev D. V., Ostrivnoi A. F., Sychev V. V. Requirements for force standards used for verification of heavy scales. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2022;18(3):5–16. (In Russ.). https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16
4. Gillieva G., Atakhanova M., Ataev R., Vapaev A. Role of conveyors in automatic loading and unloading. *Symbol of science*. 2023;9–1:75–77. (In Russ.).
5. Ilyin D. D. Conveyor, types of conveyors and their features in production. *Vestnik nauki*. 2024;12–1(81):821–828. (In Russ.).
6. Pronin A. N. Classification of dosing devices and their key role in production. *Bulletin Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University*. 2023;9(148):43–50. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2227-9407-2023-9-43-50
7. Iluhin A. V., Marsov V. I., Kolbasin A. M., Dinh A. N. Combined control dispenser is continuously action. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (MADI)*. 2014;2(37):102–105. (In Russ.).
8. Frolov N. V., Mosina N. N., Chilingaryan N. O. Analysis of parameters of the batcher mixer of continuous action. *Bulletin of Bashkir State Agrarian University*. 2013;2(26):112–115. (In Russ.).
9. Almasbayev S. S., Galin I. A. Conveyor scales as an element of the control system of the technological process of the enterprise. *Forum molody'x ucheny'x*. 2022;4(68):20–25. (In Russ.).

10. Aronov P. M., Medvedevskikh S. V., Firsanov V. A., Ostrivnoy A. F., Shmigelsky I. Yu., Kotliarov R. Yu. Results of researches for new method for metrological assurance of mass measurements on conveyor weigher. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2020;16(4):5–16. (In Russ.). https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-4-5-16
11. Skripka V. L. Correlation signal processing is a reserve for improving the accuracy of conveyor scales. *Instruments*. 2016;11(197):26–29. (In Russ.).
12. Kolesnikov V. A., Yurov V. M., Ismailov Zh. T., Baisagov Ya. Zh. Thermodynamic conditions for optimal weighing on conveyor scales. *Modern high technologies*. 2014;1:90–91. (In Russ.).
13. Prokofiev E. A., Nikolsky A. B. Improving the quality of continuous automatic dispensers for bulk food materials. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 1991;4–6(203–205):128–131. (In Russ.).
14. Andreev A. N., Vdovkin S. V. The process of forming a flow of seeds and powdered fertilizers using a continuous metering unit. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;5(91):96–100. (In Russ.).
15. Abduraxmonov S. M., Sayitov S. S. U., Sobirjoniy A. A. U., Abdumutalov D. A. U. Automatic belt dispensers for cement production. *Universum: texnicheskie nauki*. 2021;10–1(91):80–82. (In Russ.).
16. Shilin D., Shestov D., Vasiliev A., Moskvin V. Determination of the optimal speed of movement of the conveyor belt of the prototype weighing belt batcher. In: Vasant, P., et al. Intelligent Computing and Optimization. ICO 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 855. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50158-6_12
17. Galin I. A. Verification of continuous multichannel belt-conveyor weighers. *Measurement Techniques*. 2016;1:26–29. (In Russ.).
18. Donis V. K., Rachkovsky A. E., Gudovskaya N. Y. The state and prospects of development of methods of verification of conveyor automatic scales of continuous action. *Measurement Techniques*. 2003;9:28–32. (In Russ.).
19. Vardhan D. S. V. S., Narayan Y. S. Development of an automatic monitoring and control system for the objects on the conveyor belt. In: *International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI)*, Bhubaneswar, India; 2015. P. 1–6. https://doi.org/10.1109/MAMI.2015.7456594
20. Mansur V., Pershin V. F. Development of a method for weight continuous dosing of bulk materials and its implementation analysis. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*. 2023;1(754):33–41. (In Russ.). https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-33-41
21. Donis V. K., Galin I. A. Criteria of estimating conveyer scales calibration indirect method accuracy. *Automatics. Informatics*. 2005;1–2(16–17):50–53. (In Russ.).
22. Donis V. K., Rachkovskii A. E., Sin V. M. How the conveyor belt length affects belt weigher accuracy. *Measurement Techniques*. 2004;2:33–36. (In Russ.).
23. Shmigelsky I. Yu., Andreev D. V., Ostrivnoi A. F., Sychev V. V. Requirements for force standards used for verification of heavy scales. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2022;18(3):5–16. (In Russ.). https://doi.org/10.20915/2077-1177-2022-18-3-5-16
24. Marsova E. V., Kolbasin A. M., Kochetkov A. V., Seleznyov V. S., Carkov D. S., Buoy K. Tkh. The batcher – the expense integrator with a relay control system. *Naukovedenie*. 2015;7(5):53TVN515. (In Russ.).
25. Galin I. A., Donis V. K. Calibration of continuous conveyor-type weighers using reference weights without stoppage of the production process. *Measurement Techniques*. 2014;57:884–890. https://doi.org/10.1007/s11018-014-0554-5
26. Chistyakov E. Yu., Pavlov A. Yu., Nuriev A. G., Afanas'ev V. V., Grenader Ya A. Remote calibration of dynamic wagon scales. *Bulletin of scientific research results*. 2024;4:103–111. (In Russ.). https://doi.org/10.20295/2223-9987-2024-04-103-111
27. Galin I. A., Donis V. K. Calibration of continuous conveyor-type weighers using reference weights without stoppage of the production process. *Measurement Techniques*. 2014;57:27–31. (In Russ.).
28. Nazarov V. N., Pavlov S. A. Metrological support of weighing equipment. *Istoriya nauki i tekhniki [History of science and Engineering]*. 2010;9:64–68. (In Russ.).
29. Yavnik P. M., Pershina S. V., Pershin V. F. Modeling of continuing weight feeding. *Transactions of the Tambov State Technical University*. 2012;18(4):912–916. (In Russ.).
30. Marsov V. I., Gematudinov R. A., Ilyukhin A. V., Marsova E. V. Principles of organization of coherent dosing of multicomponent mixtures. *Avtomatizaciya i upravlenie v texnicheskix sistemax*. 2017;1(22):4. (In Russ.).
31. Vasiliev Yu. E., Ilyukhin A. V., Kolbasin A. M., Marsov V. I., Din An. N. Technological capabilities of batchers with capacity regulation. *Stroitel'nye Materialy*. 2015;1:32–33. (In Russ.).
32. Roginsky G. A. Dosing of bulk materials. B. I. Mordkovich. Moscow: Ximiya; 1978. 124 p. (In Russ.).
33. Alsayyad T. Kh. Weigh continuous feeding of bulk materials: modern condition and prospects. *Sovremenny'e naukoemkie texnologii*. 2017;7:12–17. (In Russ.).
34. Alsaiad T. Kh. K., Pershin V. F., Baranov A. A. Improvement of continuous weighing dosage in manufacture and use of carbon nanomaterials. *Transactions of the Tambov State Technical University*. 2018;24(2):344–353. (In Russ.). https://doi.org/10.17277/vestnik.2018.02.pp.344–353

35. Borisov N. A., Gematudinov R. A., Marsov V. I. Measuring system of continuous dispensers. In: *Human capital as a factor of innovative development of society : Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*, 11 April 2019, Magnitogorsk, Russia. Magnitogorsk: OMEGA SCIENCES; 2019. P. 23–27. (In Russ.).
36. Sechko D. S. The effect of vibrations on continuous metering devices. In: *Youth. Intelligence. Initiative : Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference of Students and Undergraduates*, 17–18 April 2014, Vitebsk, Russia. Vitebsk: Vitebsk State University named after P. M. Masherov; 2014. P. 48–49. (In Russ.).
37. Polyakov S. I., Ukhin A. S., Chelyshey S. G. Automation of continuous dosing of concrete components. *Information technologies in construction, social and economic systems*. 2020;2(20):27–32. (In Russ.).
38. Kravchenko I. A., Ermoolin A. Yu. Factors influencing the error in dosing of bulk materials. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*. 2005;2(130):113a-117. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Замятин Денис Сергеевич** – заместитель заведующего лабораторией метрологии магнитных измерений и неразрушающего контроля УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ имени Д. И. Менделеева»
620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: lab261@uniim.ru
https://orcid.org/0000-0003-0597-9169

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Denis S. Zamyatin** – Deputy Head of the Laboratory of Metrology of Magnetic Measurements and Non-Destructive Testing, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleyev Institute for Metrology
4 Krasnoarmeyskaya st., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: lab261@uniim.ru
https://orcid.org/0000-0003-0597-9169