

DOI: 10.58168/OpEq2025_154-165

УДК 517.98

**КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХАГРЕГАТНЫМ
ВЕСОВЫМ ДОЗАТОРОМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**
COMBINED TWO-UNIT WEIGHT CONTINUOUS DOSING OF BULK
MATERIALS

Поляков Сергей Иванович

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры автоматизации производственных процессов

ВГЛУ, г. Воронеж, Россия

Polyakov Sergey Ivanovich

PhD (Engineering), Associate professor, Associate professor of the Department of
Industrial Process Automation, Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблемы комбинированного двухагрегатного непрерывного дозирования сыпучих материалов с целью создания автоматизированной системы управления процессом весового дозирования.

Abstract. The article is devoted to the study of the problem of combined two-unit continuous dosing of bulk materials in order to create an automated control system for the weighing dosing process.

Ключевые слова: весовое дозирование, точность, автоматическое регулирование, управление, смеси, структурная схема.

Keywords: weight dosing, accuracy, automatic regulation, control, mixtures, block diagram.

Производство смесей высокого качества в различных отраслях промышленности при непрерывном дозировании исходных компонентов является приоритетной задачей по созданию передвижных и стационарных весодозирующих и смесительных установок. Причем вопросы автоматического управления непрерывным весовым дозированием и смешиванием компонентов при производстве смесей являются ключевыми.

Работа посвящена исследованию повышения точности весового непрерывного дозирования компонентов смесей и созданию АСУ дозированием.

При этом требовалось изучить особенности весового дозирования компонентов смесей как объекта управления и выработать проектные предложения для реализации автоматического непрерывного весового дозирования.

Исследование процесса непрерывного весового дозирования компонентов смесей с разработкой и созданием АСУ дозированием представляет важную научную и практическую проблему.

В работе решены следующие задачи:

- исследование процесса дозирования как объекта компьютерного управления;
- модернизация структуры управления взвешиванием на базе современных средств автоматического контроля и управления;
- выбор комплекса технических средств системы управления непрерывным весовым дозированием компонентов смесей;
- техническая реализация системы управления на основе использования рычажных весов, частотных преобразователей, а также контроллера, регулятора или промышленного компьютера.

Объект исследования являлись автоматические весовые дозаторы компонентов смесей. Предмет исследования – процесс непрерывного весового дозирования компонентов смесей. К научной новизне работы можно отнести

определение особенности управления процессом непрерывного весового дозирования.[1]

Проектная значимость, заключается в выборе комплекса технических средств автоматизации дозирования и на их основе создание автоматизированной тензометрической системы дозирования.

Работа имеет практическую ценность, заключающуюся в разработке системы управления весовым дозированием.

Результаты работы:

- определены особенности процесса весового дозирования и системы управления дозированием;
- выявлена и экспериментально подтверждена точность дозирования компонентов на реальном весовом оборудовании;
- получены проектные решения по модернизации участка автоматического дозирования компонентов;
- предложенная в работе система управления дозированием характеризуется сбором, анализом и оперативным управлением технологическим весовым оборудованием.

Апробация работы: основные положения докладывались на научно-технических конференциях, проводимых в разные годы в ВГЛТУ.

Работа состоит из трех основных частей, объединенных единой целью исследования вопросов автоматизации процесса непрерывного дозирования сыпучих материалов.

Анализ состояния научно-технических разработок в области автоматизации непрерывного весового дозирования сыпучих материалов передвижных и стационарных установок показал недостатки существующего весоизмерительного оборудования по точности дозирования.

В последнее время разработка и выбор комплекса технических средств автоматизации непрерывного дозирования материалов смесительных установок выполняется с тензометрической весоизмерительной системой.

На основе вышеизложенных знаний можно сделать заключение о результате проделанной работы. [2]

В дальнейшем будем рассматривать именно такой способ комбинированного управления дозатором, оснащенного ленточным питателем. Преимущества двухагрегатного комбинированного дозатора очевидны и заключаются в следующем:

- возможность варьирования в широком диапазоне расхода исходного компонента, поступающего на ленту грузоприемного весоизмерительного органа дозатора;
- возможность без существенной потери точности дозирования осуществлять подачу ленточным питателем неоднородного сыпучего материала различной структуры и гранулометрического состава;
- возможность создания простой конструкции дозатора на базе двух однотипных ленточных конвейеров, но осуществляющих различные функции – подачи и измерения насыпной массы материала;
- использование и распространение принципа комбинированного управления на дозирующие устройства непрерывного типа, различающиеся конструктивными особенностями.

С учетом сказанного, для реализации принципа комбинированного управления дозатором на практике, необходимо создание двухконтурного регулирования по параметрам насыпной массы материала на ленте и скорости движения самой ленты грузоприемного органа. Структурная схема двухагрегатного комбинированного весового дозатора, оснащенного средствами автоматизации: датчиками, регуляторами и исполнительными механизмами, изображена на рисунке 1.

Можно сделать промежуточный вывод о том, что для двухагрегатного комбинированного весового дозатора увеличение точности дозирования напрямую будет зависеть от совершенствования структуры и принципа комбинированного управления. Сигнал, пропорциональный насыпной массе

материала, перемножается с сигналом частоты вращения приемного конвейера, результат перемножения сравнивается с заданным расходом и обрабатывается регуляторами воздействием на приводы конвейера и питателя.

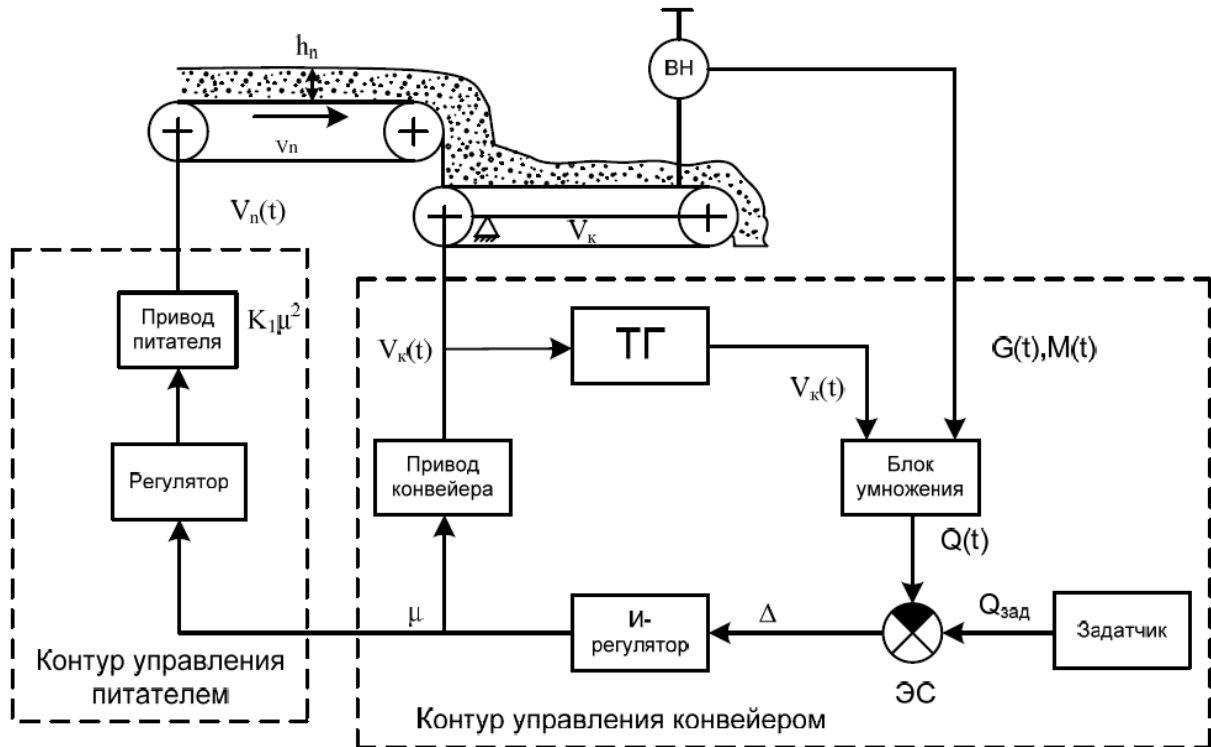


Рисунок 1 – Структурная схема двухагрегатного комбинированного весового дозатора

Основная цель изучения принципа управления двухагрегатного комбинированного весового дозатора заключается в обеспечении снижения динамической погрешности дозирования при практической реализации управления дозатором непрерывного действия.

С точки зрения управления дозатором необходимо определить основное возмущающее воздействие на него. Таким воздействием является величина рассогласования между заданным и текущим значением расхода материала. Устранить возникшее рассогласование возможно изменением насыпной массы материала со стороны ленточного питателя, так и изменением частоты вращения ленты грузового конвейера.

Особенность работы дозатора непрерывного действия заключается в том, что расход материала на транспортере можно представить за входную величину,

а вес материала за выходную величину. Также необходимо учесть, что грузовой конвейер – это звено чистого транспортного запаздывания, где материал в один и тот же момент времени приходит на транспортер и уходит с него.

В соответствии с рисунком 1 имеет место двухконтурное регулирование производительности дозатора. Первый контур выполняет стабилизацию частоты вращения грузового конвейера и одновременно стабилизацию расхода материала на ленте как функции двух переменных: насыпной массы материала, формируемой контуром управления питателем и скоростью вращения ленты грузового конвейера. Второй контур управления питателем имеет свой собственный регулятор, обеспечивающий стабилизацию подачи сыпучего материала на грузовую ленту.

В качестве датчика частоты вращения грузового конвейера использован тахогенератор, которым может служить генератор постоянного тока.

В качестве датчика веса (насыпной массы) в последнее время применяют тензометрические силовые измерители. После прохождения блока перемножения сформирован сигнал фактической производительности дозатора в данный момент времени для сравнения его с заданным значением производительности от задатчика.

Структурная схема управления комбинированным двухагрегатным дозатором представлена на рисунке 2.

В качестве датчика скорости, используется тахогенератор, которым является генератор переменного тока с последующим выпрямлением; датчиком массы служит сельсин, фиксирующий перемещение грузоприемного транспортера; в качестве регулятора используется стандартный регулятор.

Таким образом, система управления двухагрегатным дозатором поддерживает в заданных пределах скорость движения ленты транспортера и интенсивность подачи материала шнековым питателем из бункера сыпучего материала.

Весовые дозаторы непрерывного действия, являясь аналоговыми системами, представляют собой системы, легко поддающиеся расчету в динамике. Для подобных расчетов необходимо знание динамики основного элемента дозатора – грузоприемного органа, которым является короткий ленточный транспортер.

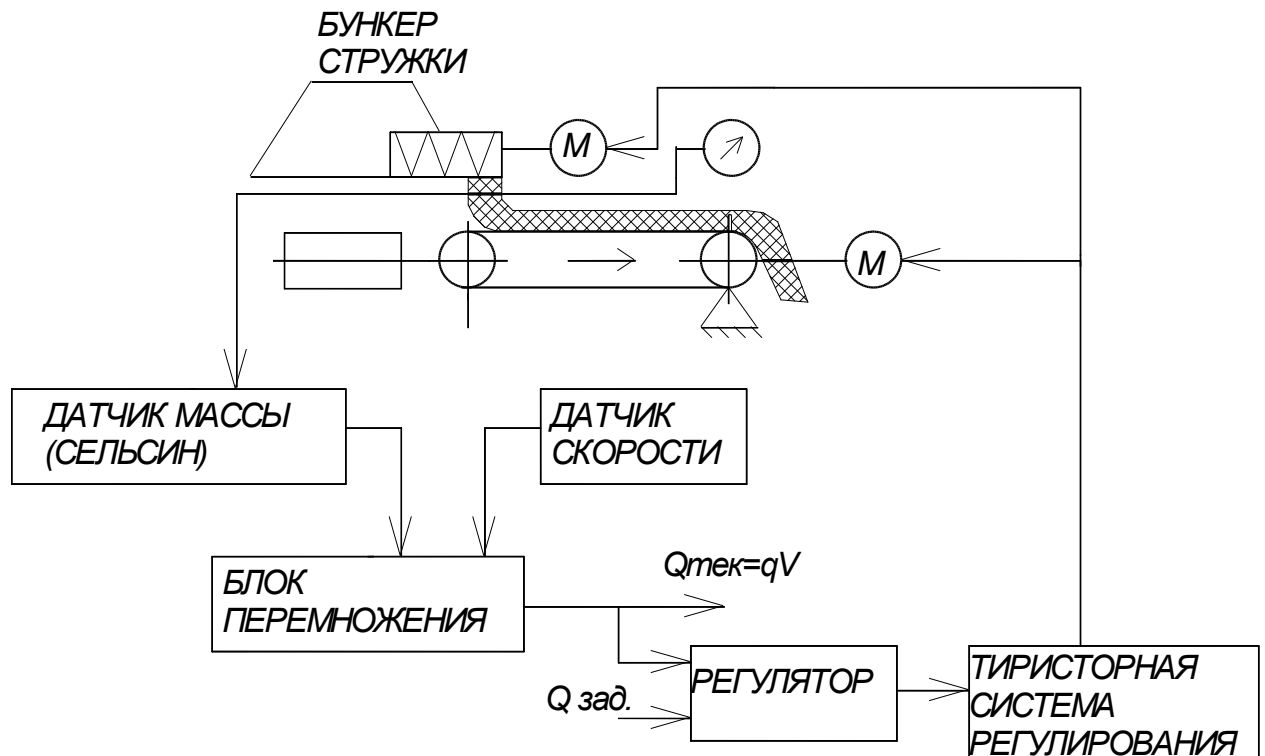


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизации двухагрегатного дозатора

Применительно к рассмотренным структурным схемам автоматизации весовых дозаторов приведем математический аппарат, описывающий работу принципа комбинированного управления, связывающий в функциональной зависимости интенсивность подачи материала на ленту грузового конвейера и скорость ленты этого конвейера. Для этого воспользуемся структурными схемами двухагрегатных комбинированных весовых дозаторов и условными обозначениями сигналов физических параметров, приведенными на схемах в соответствии с рисунками 1 и 2.

Обеспечиваемая весовым дозатором производительность $Q_{доз}$ может быть вычислена по следующей формуле:

$$Q_{доз} = \gamma S_{кон} h_{кон} V_{кон},$$

где γ – насыпная масса сыпучего материала;

$S_{кон}$ – ширина ленты грузоприемного конвейера;

$V_{кон}$ – линейная скорость ленты грузоприемного конвейера;

$h_{кон}$ – высота сыпучего компонента на грузоприемном конвейере.

Если критически обосновать состав формулы, то при постоянстве насыпной массы дозируемого сыпучего компонента и ширины ленты грузового конвейера производительность дозатора $Q_{доз}$ будет зависеть от линейной скорости ленты и высоты сыпучего компонента на грузовом конвейере.

В случае если произойдет изменение насыпной массы компонента, то она может быть эквивалентно заменена высотой $h_{кон}$ сыпучего компонента на грузовом конвейере.

Рассмотрим вычисление производительности ленточного питателя по аналогичной выше формуле:

$$Q_{пит} = \gamma S_{пит} h_{пит} V_{пит},$$

где γ – насыпная масса компонента;

$S_{пит}$ – ширина ленты конвейера питателя;

$V_{пит}$ – линейная скорость ленты конвейера питателя;

$h_{пит}$ – высота сыпучего компонента на конвейере питателя.

Так как рассматривается работа дозатора, реализующего непрерывный принцип действия, то к нему применим закон сохранения массы, в соответствии с которым общий расход поступающих в дозатор сыпучих материалов равен общему расходу выходящих из дозатора материалов:

$$Q_{пит} = Q_{доз}$$

Подставим формулы:

$$\gamma S_{пит} h_{пит} V_{пит} = \gamma S_{кон} h_{кон} V_{кон} . \quad (1)$$

Рассмотрим частный случай, когда ширина ленты грузового конвейера равна ширине ленты конвейера питателя, тогда это позволяет записать:

$$\begin{aligned} h_{\text{пит}} V_{\text{пит}} &= h_{\text{кон}} V_{\text{кон}}, \\ h_{\text{кон}} &= h_{\text{пит}} V_{\text{пит}} / V_{\text{кон}}. \end{aligned} \quad (2)$$

В соответствии со структурной схемой двухагрегатного комбинированного весового дозатора по рисунку 1 автоматическое управление дозатором осуществляется при одновременном регулировании скорости ленты питателя и скорости ленты грузопринимающего конвейера. Аналогично это утверждение относится и к рисунку 2. При этом обязательным условием автоматического управления дозатором должна быть синхронизация скоростей электроприводов двух агрегатов.

Математически это можно представить следующим выражением, связывающим две скорости:

$$V_{\text{пит}} = K V_{\text{кон}}, \quad (3)$$

где K – коэффициент синхронизации.

Технически это реализуется с помощью устройств синхронизации.

Подставим соотношение (3) в выражение (2), получим:

$$h_{\text{кон}} = h_{\text{пит}} K V_{\text{кон}} / V_{\text{кон}}. \quad (4)$$

Сократив, получим:

$$h_{\text{кон}} = K h_{\text{пит}} \quad (5)$$

Выражение (5) и (3) показывают, что возможно изменение высоты слоя на ленте грузового конвейера регулированием синхронизирующими устройствами по отношению к слою конвейера питателя. Для частного случая, когда коэффициент синхронизации K в выражении (3) равен 1, регулирование высоты слоя на ленте грузового конвейера возможно только изменением скорости этого конвейера.

Другими словами, должна быть установлена следующая функциональная зависимость:

$$h_{\text{кон}} = f(V_{\text{кон}}).$$

Тогда формула (5) с учетом сказанного переписывается следующим образом:

$$h_{\text{кон}} = K h_{\text{пит}} V_{\text{кон}}. \quad (6)$$

где K – коэффициент передачи привода питателя.

Из выражения (1) легко установить связь для $h_{\text{пит}}$

$$h_{\text{пит}} = h_{\text{кон}} V_{\text{кон}} / V_{\text{пит}}.$$

Полученное выражение подставим в формулу (6), тогда установим функциональную зависимость

$$V_{\text{пит}} = K V_{\text{кон}} V_{\text{кон}}. \quad (7)$$

Представленный математический аппарат позволил получить функциональную зависимость (7), в соответствии с которой скорость ленты конвейера питателя должна быть пропорциональна квадрату скорости ленты грузоприемного конвейера.

Принцип комбинированного управления двухкомпонентным дозатором предполагает одновременное регулирование двух технологических параметров при наличии одного или двух регуляторов. В первом случае имеет место один контур регулирования с обратной связью по производительности дозатора, во втором – два контура: регулирование скорости ленты питателя и регулирование скорости ленты грузового конвейера.

Принцип реализации комбинированной автоматической системы регулирования предполагает согласованное управление двумя и более исполнительными механизмами. Причем теоретически может изменяться во времени как насыпная масса на ленте грузового конвейера, создаваемая ленточным питателем, так и скорость перемещения ленты грузового конвейера.

Как показывают проведенные расчеты и полученные функциональные зависимости, регулирование расхода материала дозатором должно производиться на практике регулированием приводов и питателя, и конвейера при обеспечении квадратичной зависимости скорости ленты питателя от скорости ленты грузового конвейера.

В работе были выполнены исследования по научно-технической проблеме управления процессом непрерывного весового дозирования сыпучих материалов смесительных установок. Основными результатами являются приведенные ниже положения:

1. Проведена характеристика основных научно-технических разработок в области автоматизации непрерывного весового дозирования сыпучих материалов.

2. В качестве объекта автоматизации выбран дозатор автоматический ленточный весового непрерывного действия "КЛИМ-ВД".

3. Рассмотрена структурная схема современной типовой весоизмерительной установки непрерывного действия.

4. Проведена характеристика автоматизированной системы управления непрерывным весовым дозированием компонентов смесей.

5. Выполнено моделирование процессов непрерывного дозирования сыпучих материалов.

6. Разработана структурная схема двухагрегатного комбинированного весового непрерывного дозатора.

7. Для обеспечения нормальной работы дозатора с точки зрения автоматического управления регулирование расхода материала дозатором должно производиться на практике регулированием приводов и питателя, и конвейера при обеспечении квадратичной зависимости скорости ленты питателя от скорости ленты грузового конвейера.

8. Рассмотрена проблема достижения точности дозирования сыпучих материалов применением замкнутого регулирования основных параметров весового дозатора.

9. Эффективность предложенных научно-технических решений может быть доказана на практике.

Список литературы

1. Дацук К. А. Способ управления режимами дозирования и смешивания с применением вейвлет-преобразований / К. А. Дацук, Е. И. Князьков, Д. Б. Федосенков и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – Вып. 3(18). – С. 126–134. – Библиогр.: с. 134 (5 назв.). – ISSN электронной версии: 2313-1748.

2. Поляков С. И. Внедрение модульной системы управления дозированием в производство / С. И. Поляков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем лесного комплекса: межвуз. сборник научных трудов. – Воронеж, 2000. – С. 287–288.

References

1. Datsyuk K. A. Method of controlling dosing and mixing modes using wavelet transformations / K. A. Datsyuk, E. I. Knyazkov, D. B. Fedosenkov et al. // Machinery and technology of food production. – 2010. – Issue 3(18). – pp. 126-134. – Bibliogr.: p. 134 (5 titles.). – Electronic version ISSN: 2313-1748.

2. Polyakov S. I. Introduction of a modular dosing control system into production / S. I. Polyakov // Mathematical modeling, computer optimization of technologies, equipment parameters and systems of the forestry complex : interuniversity. collection of scientific papers. Voronezh, 2000, pp. 287-288.