

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМ  
ВЕСОВЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ  
СМЕСЕЙ**

**AUTOMATED CONTROL OF CONTINUOUS WEIGHT DOSING  
IN THE PRODUCTION OF CONCRETE MIXTURES**

**Поляков С.И., к.т.н., доцент**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

poliakov1960@mail.ru

**Polyakov S.I., PhD (Engineering), Associate professor**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov"

Voronezh, Russian Federation

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию проблемы непрерывного дозирования сыпучих материалов и созданию автоматизированной системы управления процессом весового дозирования

**Abstract:** The article is devoted to the study of the problem of continuous dosing of bulk materials and the creation of an automated control system for the process of weight dosing

**Ключевые слова:** весовое дозирование, точность, автоматизированная система, управление, бетонные смеси, структурная схема

**Keywords:** weight dosing, precision, automated system, control, concrete mixtures, block diagram

Требования по дозированию материалов для бетонных смесей в Российской Федерации соответствуют современной практике, сложившейся в мире. Для цемента и воды погрешность дозирования весовыми дозаторами не должна превышать  $\pm 1\%$  и для заполнителей  $\pm 2\%$ . Причем действующий в Российской Федерации ГОСТ 7473–94 требует дозировать материалы для бетонных смесей по массе.

В настоящее время для автоматического дозирования материалов на предприятиях бетоносмесительными установками, где производятся сухие смеси, используют отдельно для каждого компонента, так называемые, весовые бункеры, снабженные контроллером весовым и тензометрическими датчиками. Весовой контроллер типа «ДОЗА-4» относится к современному весодозирующему комплексу технических средств.

Для практической реализации указаний ГОСТ по точности дозирования необходимо грамотно обеспечить измерение веса, подобрать необходимый и достаточный комплекс технических средств, создав измерительный канал, обеспечивающий достоверность передачи информации.

Весовые контроллеры в комплекте с тензодатчиками и необходимым весоизмерительным оборудованием в статическом режиме работы при постепенной и плавной загрузке бункера питателем и при отсутствии ударных воздействий от крупных монолитных образований обеспечивают заданную точность дозирования. Причем в статике эта точность может значительно превышать требуемую по ГОСТу. Это обеспечивает однозначно с одной стороны возможность получения необходимого качества сформированных доз компонентов бетонных смесей, а с другой стороны, напротив, снижает производительность весового оборудования. В данном случае система управления взвешиванием может быть реализована без компьютера, ограничившись только весовыми контроллерами.

Однако на практике обеспечить статический режим работы в производственных условиях не представляется возможным по перечисленным выше причинам. При неравномерной подаче материала в бункер питателем различного типа возникает динамический режим работы дозатора и рычажной или тензометрической весоизмерительной системы. При этом неизбежно возникают колебания дозатора в процессе взвешивания, которые обязательно приведут к динамическим погрешностям дозирования.

Здесь важно отметить то обстоятельство, что погрешность дозирования в значительно большей степени формируется за счет самого характера загрузки весовых дозаторов материалом, механикой весоизмерительной системы, и в значительно меньшей степени электроникой преобразования измерительного сигнала, системой управления, выработкой командных сигналов и тензометрическими преобразователями веса. [1, 2].

Динамическое дозирование обусловлено следующими основными факторами: весом падающего столба, после того как получен сигнал-команда

на прекращение подачи материала; колебательным движением бункера в результате ударного поступления материала в бункер; инерцией питающего устройства (ленточного, шнекового, шибера и тому подобного) после того как получен сигнал-команда на прекращение подачи материала.

Кроме перечисленных основных факторов можно выделить и дополнительные, также приводящие к динамической погрешности. К ним относятся: силовое воздействие на весоизмерительную систему от дополнительных источников; изменение чувствительности измерителей веса в процессе загрузки дозатора; возможное смещение в процессе дозирования центра тяжести дозатора и весоизмерительной системы; неравномерность подачи материала.

В процессе проектирования дозатора, оснащенного автоматизированной весоизмерительной системой, эти факторы, оказывающие негативное влияние на процесс дозирования, должны быть учтены как внешние возмущающие воздействия. Упомянутые выше весовые контроллеры программируются с учетом расчета прогноза и корректировки весового дозирования.

При нормальных внешних и внутренних условиях дозирования подобные контроллеры с соответствующим программным обеспечением могут обеспечивать требуемую точность дозирования. Для устранения негативного влияния перечисленных факторов их стремятся компенсировать, например, изменяя скорость электропривода механизма подачи материала на различных режимах работы питающего устройства, вводя упреждения и тому подобное.

Электропривод включает в себя преобразователь частоты как преобразователь электрической энергии, электрический двигатель и собственно систему управления. Скорость двигателя питателя дозатора может регулироваться с помощью частотного преобразователя в автоматическом режиме. Скорость асинхронного электродвигателя регулируется изменением амплитуды и частоты питающего напряжения, а также числа пар полюсов. Частотный преобразователь предназначен для управления мотор-редуктором, электроприводом переменного тока общего назначения.

В случае частотного регулирования управление скоростью вращения осуществляется путем изменения амплитуды и частоты трехфазного напряжения источника питания по командам дозирующего контроллера. Меняя частоту подводимого напряжения частотные преобразователи изменяют скорость вращения асинхронного двигателя. При этом регулирование скорости

двигателя питателя относительно основной за счет изменения частоты напряжения предусматривает как увеличение скорости, так и ее уменьшение.

В последние годы растет номенклатура выпуска дозирующих контроллеров. В связи с этим возникает проблема выбора соответствующего контроллера для решения узких специфических задач управления процессом взвешивания по следующим критериям: надёжность работы; простота и удобство задания различных режимов работы; управление контроллером в дистанционном режиме; контроль и вывод информации о накапливаемом весе материала в бункере дозатора; смена режимов работы, как в автоматическом, так и в автоматизированном режиме; реализация типовых циклов дозирования и сохранения их в памяти; останов процесса дозирования в ручном и автоматическом режимах; оперативная смена заданий доз; вывод информации о текущем состоянии процесса дозирования; в процессе смешивания компонентов одновременное дозирование материалов; время прохождения информационного сигнала не ниже 10-30 измерений в секунду; точность взвешивания в статике должна быть не менее 0,5-1%. [3].

Кроме перечисленных критериев выбора весовой контроллер должен реализовывать следующие функции: интуитивно-понятный пользовательский интерфейс эксплуатации прибора; индикация на русском языке, удобочитаемые инструкции контроля и настройки; необходимая калибровка и настройка системы, в том числе в автоматическом режиме; при необходимости дозирование материалов в один весовой бункер нескольких компонентов; отчётность по производимым циклам дозирования и общему расходу материалов.

Подводя итог, можно сказать, что весовые контроллеры типа «ДОЗА-4» выпускаются промышленностью в нескольких модификациях, обеспечивая потребности предприятий строительной отрасли и бетоносмесительных установок в различных автоматизированных дозирующих устройствах. Контроллеры выпускаются с функцией подсчета импульсов, управления порядка загрузки исходных компонентов, с обратными связями по исполнительным механизмам дозирующего и смесительного оборудования и так далее.

Перечисленные функции учитываются на этапе проектирования изделия и реализуются в различных модификациях при выпуске. Предприятиям и фирмам-изготовителям надлежит совершенствовать контроллер с позиций адаптации системы управления к реальному истечению материала из питателей

дозаторов. Это сложная задача, но ее необходимо решить за счет применения расширенного математического обеспечения и экспресс-анализа хода дозирования.

Заказчиками существующих весовых контроллеров являются ведущие производители весодозирующего оборудования, такие как УПТК Стройтехника г. Москва, ООО Стройтехника г. Тула и другие. В настоящее время весовые контроллеры «ДОЗА-4» разработаны и серийно выпускаются промышленностью.

Разработка автоматизированной системы управления дозаторов для бетонной смеси непрерывным способом представляет определенные трудности, то есть является сложной научной и инженерной задачей.

Известны разработки подобных систем, внедренные на производстве. Например, в девяностые годы на Воронежском заводе ЖБИ-2 была установлена автоматизированная система управления процессом дозирования для составляющих бетонных смесей. Система работала в дозирочном отделении бетоносмесительного цеха [4, 5].

Технологическое оборудование весовое включало 6 дозаторов для цемента, воды, керамзита, щебня и гравия. Дозирование выполнялось по классическому принципу, включающее питающее устройство соответствующего типа и конструкции, грузоприемного органа и весоизмерительной системы. Последняя работала на принципе уравнивания груза посредством рычагов: грузоприемного органа с материалом с одной стороны и весовой головки с отклоняющимися балластами с другой.

Особое внимание при разработке систем автоматики уделялось выбору датчиков веса. Так как грузоприемная часть дозатора при поступлении на нее материала прогибается вниз под действием силы тяжести, то можно от жесткого звена перемещающегося вместе с грузом получить достоверную информацию о весе. Здесь использовались аналого-цифровые преобразователи. Для них необходимо было реализовать принцип преобразования измерительного сигнала: линейное перемещение весового датчика – цифровой код, угловое перемещение весового датчика – цифровой код. Либо следующий принцип: линейное перемещение весового датчика – цифровая последовательность импульсов, угловое перемещение весового датчика – цифровая последовательность импульсов.

Бесспорно, любая система только тогда будет работать, если она состоит из надежных и работоспособных в жестких производственных условиях элементов. Поэтому, фактор надежности был главным при выборе преобразователей перемещений, как линейных, так и угловых.

При разработке АСУ непрерывным дозированием необходимо определить основные технические данные системы, функции, которые будет выполнять система автоматики. Осуществить выбор промышленного контроллера и компьютера.

Большое внимание требует разработка программного обеспечения. Наиболее подходит для процессов дозирования реализация прямого цифрового управления непрерывными дозаторами. Кроме того, система управления и соответственно программное обеспечение должны быть адаптированы к особенностям работы дозаторов составляющих бетонных смесей, учитывать сам процесс взвешивания, характер загрузки питающим устройством, отсечение потока материала при достижении требуемого веса или расхода (производительности) дозатора и так далее. Ведь дозаторы работают в весьма жестких условиях внешней среды, материал поступает неравномерно, различного гранулометрического состава, влажности, объемного веса, в условиях резкого перепада температур и влажности. Все эти негативные факторы и возмущающие воздействия на процесс весового дозирования необходимо учесть. [6].

В итоге программное обеспечение должно реализовывать такой математический аппарат, который способен принять особенности дозирования в условиях работы этих дозаторов на предприятиях стройиндустрии и быть адаптированным к самому процессу загрузки, выгрузки, взвешивания и преобразовании веса в достоверный измерительный сигнал. Алгоритм управления взвешиванием строится по типовому принципу, содержит циклические, линейные, ветвящиеся структуры и показан на рис. 1.

С точки зрения управления автоматизированная система должна выполнять следующие функции: обеспечивать стабилизацию значения веса или расхода материала на весоизмерительном устройстве, осуществлять программное логическое управление исполнительными органами весового оборудования бетоносмесительных установок непрерывного действия. Автоматизированная система управления должна собирать, обрабатывать по алгоритму интеллектуального программного обеспечения всю необходимую измерительную информацию о процессе дозирования. Монитор отображает

состояние всего весодозирующего оборудования. Кроме того, необходимо получать информацию не только о технологических параметрах процесса взвешивания, формирования дозы, расхода и производительности, но и об отклонении этих величин от заданного значения. Следить о достижении предельных значений технологических параметров. И при необходимости оповещать диспетчера или оператора о возникших аварийных ситуациях.

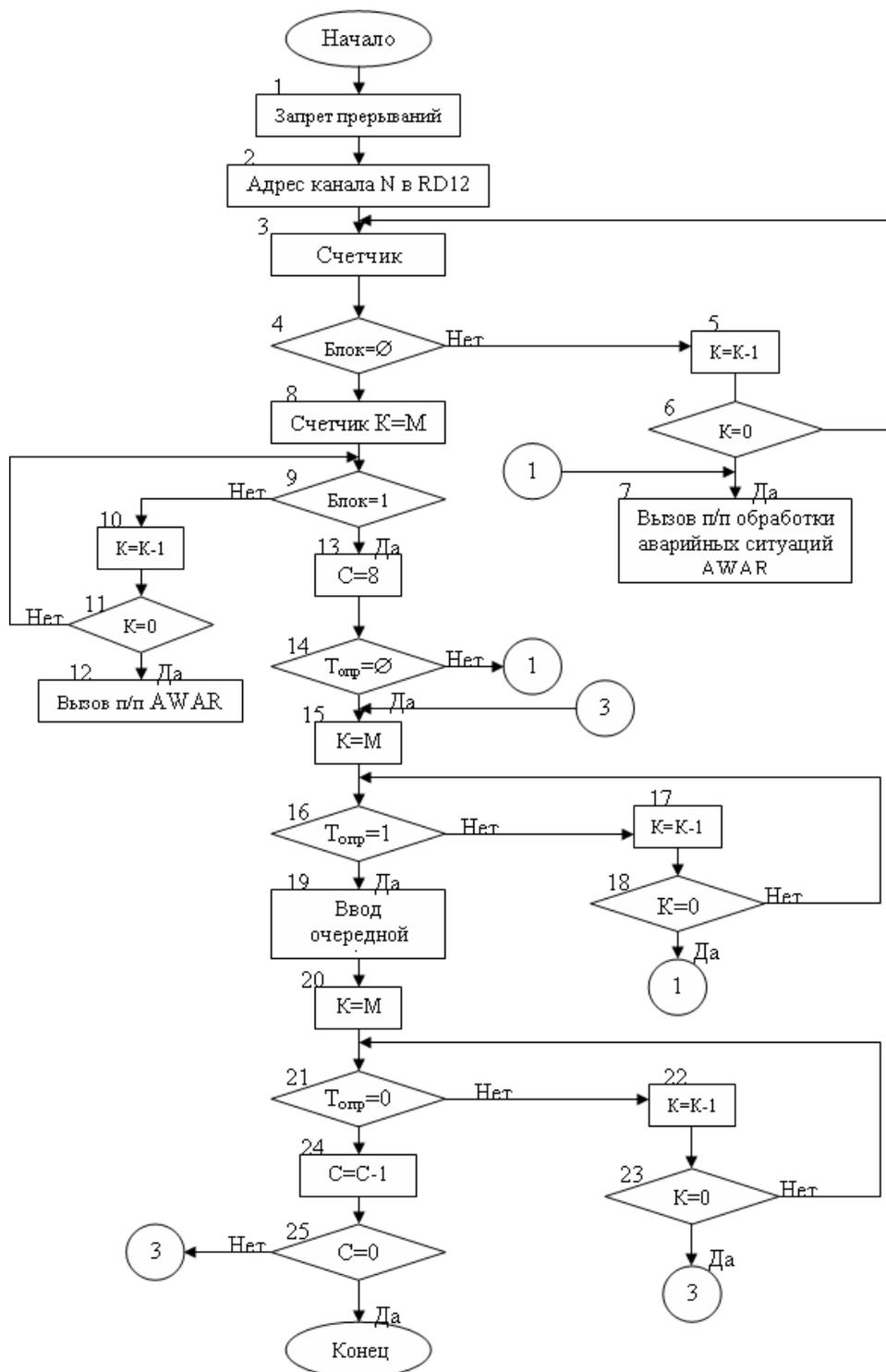


Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма управления подпрограммы взвешивания WES

Основным объектом исследования и автоматизации является дозатор непрерывного действия, представленный на рис. 2. Состав приведенного дозатора и системы управления следующий: 1 – сыпучий материал (компонент бетонной смеси), 2 – загрузочное входное устройство, 3 – датчик силовой тензометрический, 4 – датчик частоты вращения ленты дозатора, 5 – датчик частоты вращения ведомого барабана, 6 – датчик натяжения ленты грузового конвейера, 7 – асинхронный электропривод ленты дозатора и секторного питателя, 8 – частотный преобразователь, 9 – датчики наполнения дозатора, 10 – входная воронка питающая.

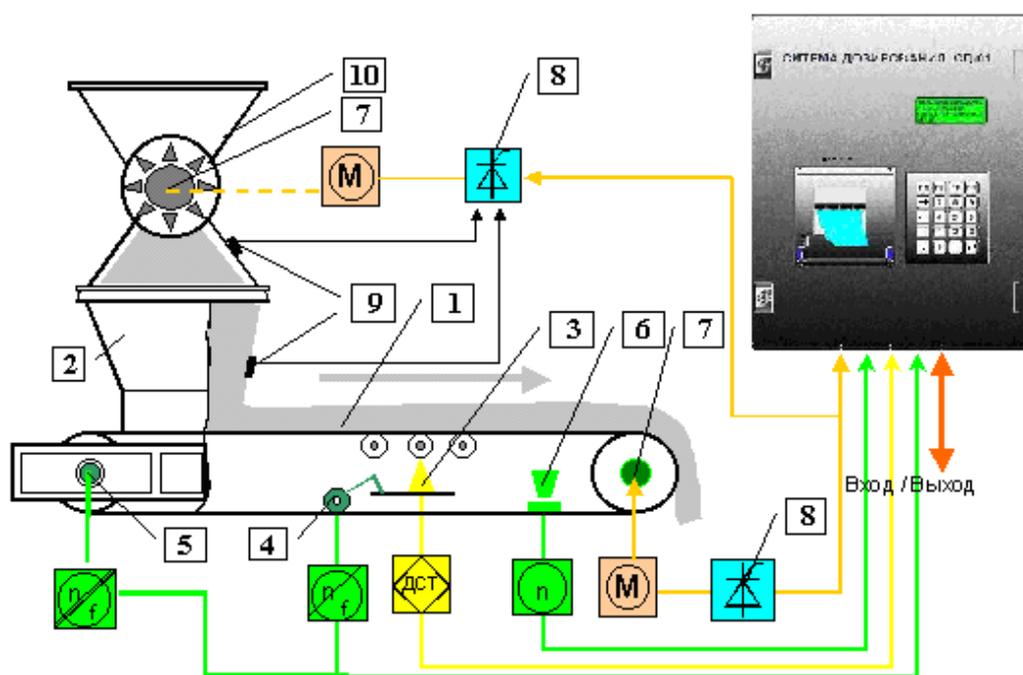


Рисунок 2 – Дозатор непрерывного действия, оснащенный тензометрической системой автоматического взвешивания и управления

Информация в виде измерительных сигналов поступает на входы контроллера, а также на аналого-цифровой преобразователь. В соответствии с алгоритмом управления обрабатывается, и в случае отклонения технологических параметров от заданного значения, контроллер обеспечивает выработку командных управляющих воздействий на силовые и исполнительные механизмы с целью достижения контролируемых технологических параметров заданного значения.

Основным элементом работы дозатора является тензометрический преобразователь веса, серийно выпускаемый промышленностью, и широко

внедряемый в том числе и для операций дозирования и взвешивания в различных отраслях промышленности.

Предложенный комплекс технических средств автоматизированного управления имеет достаточный и необходимый состав для достижения качественного управления процессом непрерывного взвешивания сыпучих материалов. Работа подобных систем управления в условиях производства достаточно надежна. Основным показателем качественной работы весового дозатора непрерывного действия остается показатель точности дозирования, то есть стабильного расхода или производительности дозатора. Обеспечить заданную точность в условиях промышленной эксплуатации дозаторов представляет на практике значительную трудность.

Основным трудно преодолимым фактором в достижении точности, все-таки является сам процесс загрузки дозатора расходным материалом. Из-за налипания материала к стенкам воронки, разного наполнения дозатора, изменения физико-механического состояния исходных компонентов, объемного веса, влажности, отсутствия бесперебойного поступления материала и так далее сильно затрудняют работу дозатора. И в, первую очередь, страдает точность необходимая для поддержания заданного процентного соотношения компонентов смесей в процессе приготовления бетонных смесей.

Решить полностью проблему точности дозирования и взвешивания только выбором технических средств не представляется возможным. Необходим математический аппарат и программное обеспечение, его реализующее, способные адаптироваться к работе дозаторов. Программное обеспечение должно содержать вычислительный аппарат, основанный на оперативном анализе данных работы дозатора, упреждении динамической погрешности дозирования, ее статистическом прогнозировании. Только после обработки этих данных может быть выработано адекватное управляющее воздействие на управление механизмами дозатора непрерывного действия в составе бетоносмесительных установок для производства качественных смесей. Структура системы управления непрерывным дозированием компонентов бетонных смесей представлена на рис. 3.

Преобразователь тензометрический включает в себя следующие блоки: дискретные входы и выходы с гальванической развязкой, драйверы RS485 и RS232 с гальванической развязкой, микропроцессор, светодиодный индикатор, клавиатура, блок питания преобразователя, аналого-цифровой преобразователь. [7, 8].

Входное сетевое напряжение питания преобразуется блоком питания прибора в напряжение стабилизированное, необходимое для питания как датчиков тензометрических, так и всех остальных узлов прибора. Питание преобразователя выполняется либо от внешнего источника 12...25В, либо от сети переменного тока 220В. Источник питания вспомогательный работает только от сетевого напряжения переменного тока 220В. Кроме того, он имеет от основной схемы развязку гальваническую. Преобразователь имеет также нестабилизированное напряжение вспомогательного внутреннего источника питания. Это напряжение, помимо основного питания, может быть использовано для подключения внешних релейно-контактных дискретных датчиков, для которых не предъявляются повышенные требования к источнику питания.



Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматизированного управления технологическим процессом непрерывного дозирования компонентов бетонных смесей

Пропорциональный измеряемому весу на ленте конвейера, измерительный сигнал тензодатчика подается на входные цепи аналого-

цифрового преобразователя. Схема подключения тензометрического датчика к вторичному измерительному прибору Ньютон 11 имеет свои особенности, которые заключаются в компенсации потерь напряжения в соединительных проводах тензометрического датчика. На входы АЦП приходит также напряжение с питающей диагонали тензометрического датчика наряду с измерительным сигналом тензометрического датчика. Это напряжение в измерительной схеме для АЦП является опорным. После обработки в АЦП цифровые значения измерительных сигналов подаются в микропроцессор. В микропроцессоре цифровые значения обрабатываются и происходит преобразование искомым значений в измеряемый вес. Полученный вес высвечивается на индикаторе тензометрического преобразователя и далее по сети поступает интерфейсу RS485/RS232. Кнопками на лицевой панели тензометрического преобразователя вес при необходимости сбрасывается.

Получив фактическое измеренное значение веса, вторичный преобразователь может выдать релейный сигнал по предварительно выполненным настройкам самого тензометрического преобразователя. Кроме этого, также по предварительно выполненным настройкам преобразователя обрабатывается состояние входов прибора. В выходных цепях происходят действия в связи с состоянием входов преобразователя.

В работе были выполнены исследования по научно-технической проблеме управления процессом непрерывного весового дозирования материалов бетоносмесительных установок. Основные результаты научно-технических исследований заключаются в следующем: 1. Выявлены особенности управления процессом дозирования сыпучих материалов на участке смешивания в составе БСУ непрерывного действия. 2. Предложены проектные решения по реконструкции, совершенствованию систем автоматизации, заключающиеся в установке весоизмерительных конвейеров, оснащенных частотными преобразователями и тензометрическими информационно-измерительными системами. 3. Разработана автоматизированная система управления непрерывного дозирования компонентов бетонных смесей, отличающаяся оперативным сбором и анализом информации о параметрах дозирования, выработкой оперативных управляющих воздействий на весоизмерительное оборудование.

## 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.
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.
3. Поляков, С. И. Математическая модель динамической погрешности дозирования. / С. И. Поляков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – № 6. Т. 7. – С. 74–76.
4. Поляков, С. И. Метрологические характеристики процесса дозирования сыпучих тел / С. И. Поляков // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения: материалы Всероссийской научно – практической конференции. – Красноярск, 2002. – Т. 2. – С.130-135.
5. Поляков, С. И. Проблема точности дозирования материалов / С. И. Поляков // Проблемы и перспективы лесного комплекса: материалы межвузовской научно – практической Конференции. – Т. 2. – Воронеж, 2005. – С. 45–49.
6. Поляков, С. И. Управление процессами дозирования и смешивания в производстве древесностружечных плит / С. И. Поляков // Актуальные проблемы лесного комплекса: материалы XII международной научно-технической конференции. – Брянск, 2011. – С. 111-117.
7. Рачков, М. Ю. Технические измерения и приборы / М. Ю. Рачков. – Изд. 2–е, перераб. и доп. – М.: МГИУ, 2007. – 200 с.
8. Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений / Г. Г. Рачков, А. П. Тарасенко. – Изд. 2-е, стереотипное. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.

## References

1. Datsuk, K. A. A method for controlling dosing and mixing modes using wavelet transforms / K. A. Datsuk, E. I. Knyazkov, D. B. Fedosenkov, etc. // Equipment and technology of food production. – 2010. – Issue. 3(18). – pp. 126-134.
2. Polyakov, S.I. Introduction of a modular dosing control system into production / S.I. Polyakov // Mathematical modeling, computer optimization of technologies, parameters of equipment and systems of the forestry complex: interuniversity. collection of scientific works. – Voronezh, 2000. – pp. 287–288.
3. Polyakov, S.I. Mathematical model of dynamic dosing error. / S. I. Polyakov // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2011. – No. 6. T. 7. – pp. 74–76.
4. Polyakov, S.I. Metrological characteristics of the process of dosing bulk solids / S.I. Polyakov // Chemical forestry complex - problems and solutions: materials of the All-Russian scientific and practical conference. – Krasnoyarsk, 2002. – T. 2. – P.130-135.
5. Polyakov, S.I. The problem of accuracy of dosing materials / S.I. Polyakov // Problems and prospects of the forestry complex: materials of the interuniversity scientific and practical Conference. – T. 2. – Voronezh, 2005. – pp. 45–49.
6. Polyakov, S.I. Control of dosing and mixing processes in the production of particle boards / S.I. Polyakov // Current problems of the forestry complex: materials of the XII international scientific and technical conference. – Bryansk, 2011. – pp. 111-117.
7. Rachkov, M. Yu. Technical measurements and instruments / M. Yu. Rachkov. – Ed. 2nd, revised and additional – M.: MGIU, 2007. – 200 p.
8. Rannev G. G. Methods and measuring instruments / G. G. Rachkov, A. P. Tarasenko. – Ed. 2nd, stereotypical. – M.: Publishing Center “Academy”, 2004. – 336 p.