

**АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ  
КОМПОНЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ  
AUTOMATION OF CONTINUOUS WEIGHT DOSING OF BUILDING  
MIX COMPONENTS**

**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 точности весового непрерывного дозирования сыпучих материалов при производстве строительных смесей и созданию автоматизированной системы управления процессом весового дозирования

**Abstract:** The article is devoted to the study of the problem of accuracy of continuous weight dosing of bulk materials in the production of building mixes 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

Трудно переоценить важность для народного хозяйства производство бетонных смесей заданных прочностных и реологических характеристик.

Производство бетонных смесей высокого качества при непрерывном дозировании исходных компонентов является приоритетной задачей по созданию передвижных бетоносмесительных установок для нужд строительной отрасли.

Организация структуры управления дозированием-смешиванием, выбор необходимых и достаточных средств автоматизации, разработка методов и алгоритмов управления позволят достичь заданной точности весового дозирования.

В статье исследуется проблема создания автоматизированной системы управления непрерывным весовым дозированием компонентов смесей, отличающейся выбором современного комплекса высоконадежных технических средств для обеспечения требуемой точности весового дозирования материалов.

Комплекс технических средств содержит современную типовую аппаратуру для организации АСУТП прямого цифрового управления весовым дозированием: промышленный компьютер, контроллер, модули релейной коммутации, преобразователи частоты, контакторы. Причем вопросы автоматического управления непрерывным весовым дозированием и смешиванием компонентов при производстве смесей являются ключевыми.

Работа посвящена исследованию повышения точности весового дозирования составляющих строительных смесей и созданию системы управления непрерывным взвешиванием на основе весовых непрерывных дозаторов КЛИМ-ВД серийно выпускаемых промышленностью [1, 2, 3].

Как и для дозаторов дискретного действия, та же погрешность дозирования должна обеспечиваться и для непрерывного весового автоматического дозирования материалов весовым оборудованием непрерывного действия в составе БСУ. Для автоматизации заводов непрерывного действия и бетоносмесительных установок предназначены дозаторы непрерывного принципа действия, для которых создано несколько типов таких дозаторов для производства бетонных смесей производительностью до 240 м<sup>3</sup>/ч.

Для весового автоматического непрерывного взвешивания сыпучих материалов в производстве бетонных смесей предлагается использовать дозаторы КЛИМ-ВД, которые включены в реестр экспертизы по промышленной безопасности в строительстве ФЭТАН №56-ТУ-00634-2015. Кроме того, дозаторы имеют сертификат соответствия по обеспечению требованиям промышленной безопасности. Указанные дозаторы под номером 67957-17 зафиксированы в Государственном Реестре средств измерений РФ, сертифицированы Росстандартом Российской Федерации и соответствуют ГОСТ 30124-94.

Непрерывные весовые дозаторы для дозирования сыпучих материалов, могут быть использованы в технологических цепочках предприятий стройиндустрии, в частности при производстве бетонных и строительных смесей, и обеспечивают в режиме непрерывного дозирования заявленную точность весового дозирования при сохранении заданных значений производительности.

Функции, выполняемые дозаторами непрерывного действия, заключаются в обеспечении суммарного значения массы проходящей через дозатор сыпучего материала за требуемый интервал времени; измерении для дозируемого сыпучего материала – цемента, песка, щебня, гравия, керамзита линейной плотности и производительности дозатора; возможности дозирования материалов в автоматических системах управления технологическими процессами как в групповом режиме, так и в автономном.

Запитанный от трехфазного частотного преобразователя, мотор-редуктор дозатора изменяет число оборотов и, тем самым, регулирует скорость движения ленты конвейера дозатора. Система управления обеспечивает заданный расход сыпучего материала. То есть системой управления реализуется отрицательная обратная связь по производительности за счет сравнения заданного значения массового расхода с фактическим значением расхода дозируемого материала. В результате скорость движения конвейерной ленты изменяется в сторону уменьшения рассогласования или ошибки регулирования. Система управления также обеспечивает измерение технологических параметров, таких как скорость движения ленты и весовые нагрузки на ленту дозатора. По необходимости промышленность выпускает весоизмерительные дозаторы с удлиненным конвейером, а также впускные и выпускные воронки под тип дозируемого материала.

Изменение конфигурации непрерывного дозатора, его входных частей, устройств выгрузки, защитных корпусов также возможно с целью наилучшей адаптации и встраивания в остальное технологическое оборудование производственной цепочки по выпуску бетонных смесей.

В состав автоматического дозатора КЛИМ-ВД конвейерного весового непрерывного принципа действия входит частотно-регулируемый асинхронный электропривод питателя, тензометрический весоизмерительный терминал «Ньютон-25», шкаф с системой управления и измерения, конвейер-весоизмеритель в качестве грузоприемного органа, частотный привод конвейера с мотор-редуктором. Впускная воронка, как входная загрузочная

часть дозатора, обеспечивается заслонкой и задвижкой с возможностью регулирования поступающего сыпучего материала.

Возможности дозирующего весоизмерительного оборудования меняются от требований принятого на производстве технологического регламента непрерывного дозирования и смешивания компонентов по выпуску бетонных смесей и в зависимости от требований заказчика.

Производители конвейерных дозаторов предлагают различные конструктивные решения по размещению и монтажу дозатора внутри дозаторного отделения производственного помещения цеха БСУ. Дозатор может быть зафиксирован монтажными изделиями и конструкциями, как к полу, так и к потолку. Также может дозатор конвейерный может быть установлен на колеса роликовые [4, 5].

В Российской Федерации часто применяются бетоносмесительные установки непрерывного принципа действия для приготовления бетонных смесей для объектов дорожного строительства. Система автоматизации бетоносмесительных установок с дозаторами непрерывного действия показана на рис. 1.

Автоматизированная система управления дозированием компонентов бетонной смеси АСУ ДБС-2 была внедрена в бетоносмесительном цехе АО «Завод железобетонных изделий №2». Автоматизированная система позволила существующий способ ручного визуального набора веса компонентов по показаниям дистанционных циферблатных указателей заменить автоматическим набором.

АСУ ДБС-2 на базе отечественного контроллера «Нейрон» позволяла:

- выдавать командные сигналы на набор веса, а также разгрузку грузоприемных бункеров дозаторов;
- варьировать упреждением веса в зависимости от физико-механического состояния дозируемого материала;
- изменять исходный состав бетонной смеси;
- осуществлять выбор из предложенного меню марки смеси.

На мониторе контроллера имелась служебная информация о выполнении процесса дозирования и о текущем состоянии весового технологического оборудования:

- устанавливать величину упреждения веса дозы;
- осуществлять выбор и настройку необходимого режима дозирования;
- варьировать размерностью шкалы дозатора;

- варьировать временным интервалом процесса досыпки материала (точное дозирование);
- выводить заданный и фактически отмеренный вес дозы материала;
- контролировать заполнение конкретным материалом грузоприемных бункеров дозаторов;
- отслеживать неполадки и возникающие аварийные ситуации в работе технологического весового оборудования и системы автоматизации БСУ;
- обнулять показания весоизмерительного оборудования перед началом следующего цикла дозирования.

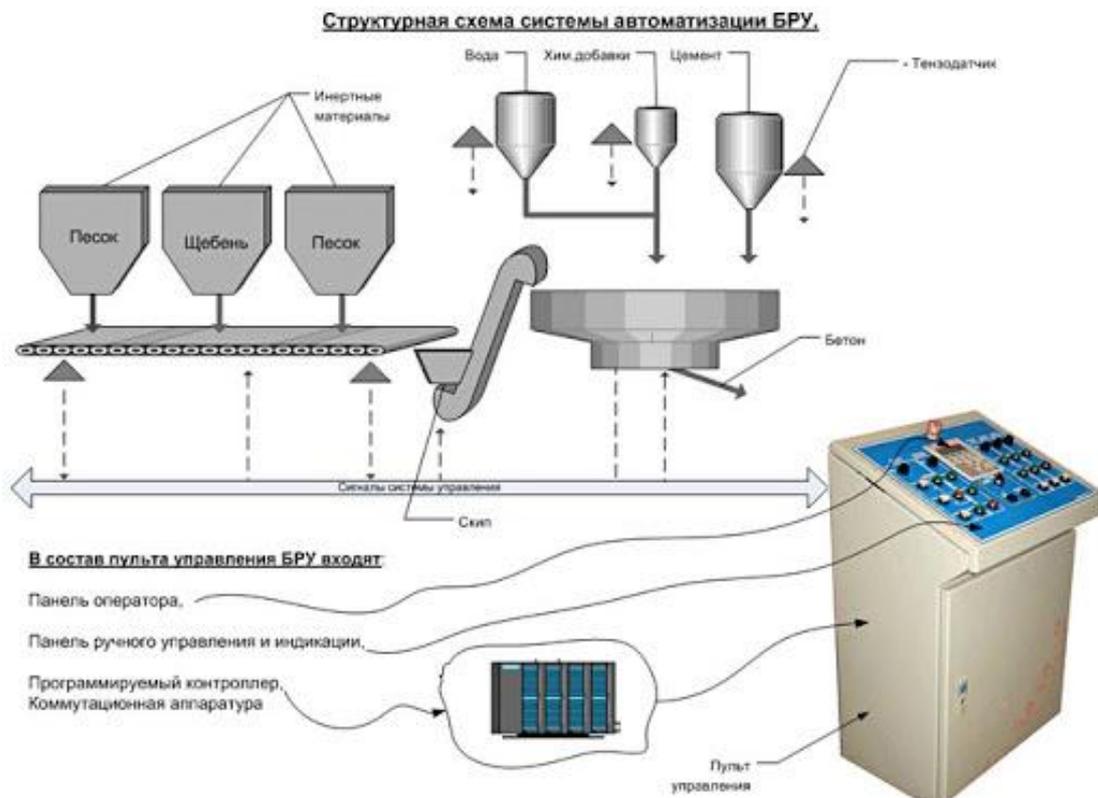


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизации БСУ непрерывного действия

Упреждение как составная часть динамической погрешности дозирования непосредственно влияет на точность измерений веса дозы. Вычисление величины упреждения в процессе дозирования должно быть автоматизировано. Под упреждением понимается разность между показанием значения веса дозы в определенный момент времени и показанием значения веса дозы в этот же момент времени, когда поступит сигнал на прекращение загрузки бункера.

Анализ экспериментальных данных, полученных на весовых дозаторах сыпучего материала бетоносмесительного цеха АО «Завод железобетонных изделий №2» после внедрения системы автоматического дозирования АСУ ДБС-2, представлен ниже. [6].

Количество проведенных измерений составило  $n=20$ , при этом заданное значение массы дозы равнялось 33 кг.

В этом случае среднее значение равно

$$m_{\text{cp}} = \frac{1}{20} (33,0 + 33,3 + 33,2 + \dots + 32,8) = 32,95 \text{ (кг)};$$

Вычислим значение среднего отклонения от фактически отмеренных масс доз по формуле

$$M = \frac{1}{20} (0,05 + 0,35 + 0,25 + \dots + 0,15) = 0,24 \text{ (кг)};$$

Тогда величина среднеквадратического отклонения составит

$$\sigma = 1,013 \sqrt{\frac{1}{19} (0,0025 + 0,1225 + 0,0625 + \dots + 0,0225)} = 0,328 \text{ (кг)};$$

Вычислим максимальное отклонение по формуле

$$b_{\text{max}} = 3 * 0,328 = 0,984 \text{ (кг)};$$

Тоже от заданной массы

$$\delta_{\text{max}} = 0,984 + |32,95 - 33,0| = 1,034 \text{ (кг)}$$

В результате относительная погрешность может быть вычислена по формуле

$$E_{\text{max}} = \frac{1,034}{33,0} \cdot 100\% = 3,13\%.$$

Приведенный расчет относительной погрешности дозирования показывает, что при сравнении с традиционным ручным способом управления, при котором погрешность составляла 9,21%, с внедрением системы автоматического управления дозированием погрешность снизилась в 3 раза. В тоже время она превышает допустимую погрешность в 1,5 раза. Проблема точности дозирования как видно пока еще не решена.

Требуется применение иных подходов в решении проблемы достижения заданной точности дозирования. Это, прежде всего, разработка расширенного математического обеспечения с привлечением современных способов и методов управления весоизмерительным оборудованием, которые бы учли особенности работы дозаторов сыпучих материалов, внутренние и внешние возмущающие воздействия [7].

Обоснованный выбор технических средств автоматизации и весоизмерительного технологического оборудования также важен и является составной частью в достижении ранее поставленной цели.

Задачи, решаемые весовыми непрерывными дозаторами КЛИМ-ВД:

- расчет текущего расхода сыпучего материала, проходящего через дозатор;
- получение измерительного сигнала насыпного удельного веса материала;
- передача входных сигналов через контроллер по интерфейсу RS-485 в АРМ оператора;
- управление двигателями, затворами и задвижками от контроллера через модули релейной коммутации и контакторы;
- расчет отклонения заданного значения расхода материала от фактического;
- вывод на экран монитора АРМ всех технологических параметров;
- обеспечение автоматического регулирования производительности дозатора в замкнутой АСР при ПИД-регулировании. [8, 9].

Автоматизированная система управления непрерывным дозированием сыпучих материалов для производства строительных и бетонных смесей изображена на рис. 2.

Организация структуры АСУТП непрерывного дозирования может быть представлена тремя уровнями:

Дозаторы непрерывного действия КЛИМ-ВД, оснащенные первичными измерительными преобразователями, концевыми выключателями, частотными и тензометрическими преобразователями, а также двигатели питателей, механизмы управления задвижками и клапанами образуют нижний уровень.

Средний уровень организован блоками питания, контроллерами, модулями релейной коммутации, то есть устройствами необходимыми для сбора информации, поступающей от датчиков, и устройствами выработки управляющих воздействий на исполнительные устройства дозаторов.

Структура среднего уровня обеспечивает:

- накопление итогового значения массы материала через дозатор;
- передачу производственной и технологической информации для архивирования на верхний уровень;
- вычисление ошибки между заданной и реально отвешенной массой материала;

- передачу информации о фактическом расходе материала через дозатор;
- реализацию запросов от верхнего уровня системы;
- контроль исполнения управляющих командных сигналов от верхнего уровня.

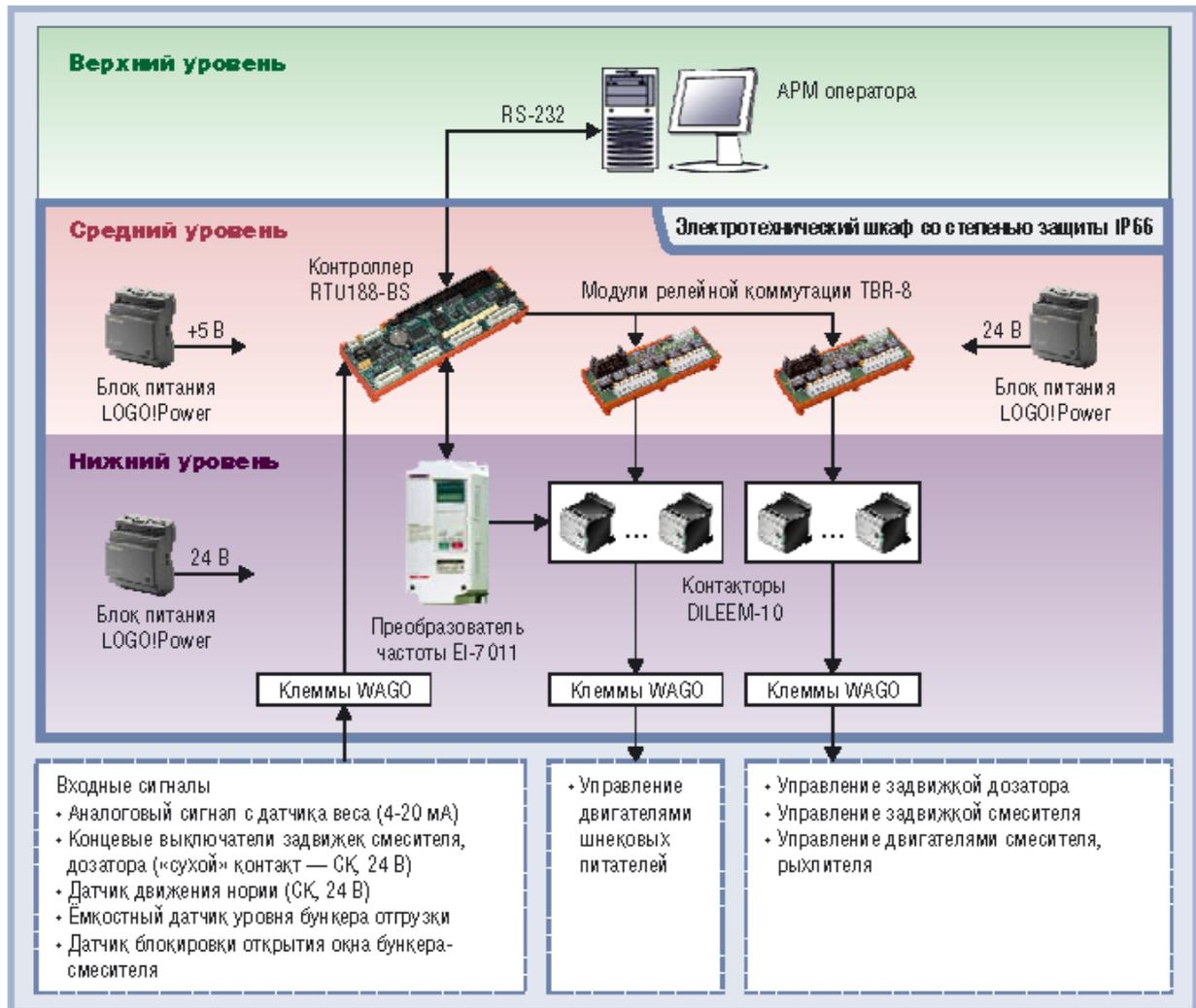


Рисунок 2 – Автоматизированная система управления непрерывным дозированием сыпучих материалов

Автоматизированное рабочее место оператора для осуществления общего управления производственным участком из группы дозаторов, а также сбора и анализа всей производственной и технологической информации посредством человеко-машинного интерфейса образует верхний уровень.

То есть верхний уровень это персональный компьютер со SCADA-системой участка непрерывного весового дозирования. [10].

Автоматизированная система управления непрерывным дозированием сыпучих материалов для производства строительных и бетонных смесей обеспечивает:

- возможность управления бесперебойной работой весовых дозаторов и систем управления основного технологического оборудования;
- сопряжение технологического весового оборудования и системы автоматического управления по различным протоколам;
- возможность оптимизации работы дозаторов по выбранному критерию (стоимости, точности, производительности, энергопотребления);
- возможность оперативного составления графиков (трендов), отражающих изменение параметров взвешивания и дозирования во времени;
- своевременную подачу звуковой и световой сигнализации при выходе технологических параметров за допустимые пределы измерения;
- возможность предотвращения аварий при работе оборудования;
- возможность расширения системы управления при необходимости обслуживания одновременно большего числа дозаторов;
- расчет состава бетонных смесей с учетом физико-механических характеристик дозируемых компонентов.
- отображение на видеомониторе процесса весового дозирования, а также расхода дозируемых материалов.

Рассмотрим дополнительные функции, реализуемые автоматизированной системой управления дозированием сыпучих материалов:

- возможность подключения системы управления базой данных к верхнему уровню системы – АРМ оператора;
- техническая реализация возможности задания оптимального состава бетонных смесей для весовых дозаторов по результатам экспресс-анализа физико-механического состояния составляющих бетонных смесей;
- пуск, останов дозаторов, обеспечение заданной производительности при управлении весовыми ленточными дозаторами в автоматическом режиме;
- табличный и графический способ представления технологической информации, полученной от весовых дозаторов непрерывного действия; составление электронного журнала учета работы весоизмерительного оборудования.
- контроль фактического расхода материала с возможностью остановки дозатора в случае создания аварийной ситуации;
- составление отчетов исходя из фактической работы дозаторов;

- создание сети предприятия с организацией дополнительных рабочих мест;
- создание производственного участка, в состав которого входят несколько непрерывных дозаторов;
- сбор технологической информации о работе дозаторов и передача ее по сети предприятия в базу данных;
- организация отчетности в электронном виде о работе дозаторов, текущем расходе материалов, сбоях в работе за определенный временной интервал;
- организация отчетности в электронном виде о работе дозаторов за определенный временной интервал, когда они находились в вынужденном простое;
- установка для каждого дозатора нового заданного значения расхода материала;
- измерение плотности дозируемых материалов;
- защита информации о работе дозаторов и ее доступность.
- диагностика и тестирование системы автоматического управления дозированием и технологического оборудования. [11, 12].

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. Разработка АСУТП непрерывного дозирования составляющих строительных и бетонных смесей диктуется необходимостью увеличения производительности приготовления смесей, существенного повышения точности дозирования, качества строительных и бетонных смесей, а также улучшения учета и контроля работы.

2. Для дозаторов проведена оценка точности дозирования сыпучего инертного материала, что дало возможность обнаружить недостатки в существующих системах визуального дозирования.

3. Выявлены принципиальные недостатки известных способов автоматизации и систем контроля и управления, которые не обеспечивают требуемую точность дозирования.

4. Предложены проектные решения по модернизации весовых дозаторов и систем автоматизации, заключающиеся в оснащении дозаторов тензометрическими и частотными преобразователями.

5. Разработана автоматизированная система управления непрерывным дозированием, отличающаяся необходимым и достаточным комплексом технических средств.

### Список литературы

1. Бокс, Дж. Анализ временных рядов: Прогноз и управление / Бокс Дж., Дженкинс Г.; Мир. – М., 1974, Вып. 1. – 406 с.

2. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле: моногр. / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер; Машиностроение. – М., 1985. – 472 с.

3. Поляков, С. И. Автокорреляция и авторегрессия дискретного ряда дозирования сыпучих материалов / С. И. Поляков // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: материалы XIII-ой международной научно-технической интернет – конференции 1 ноября – 30 ноября 2014 года. – Брянск, 2014. – С. 89–92.

4. Поляков, С. И. Автоматизация дозирования и учета расхода компонентов бетонных смесей: специальность 05.13.07 «Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность)»: дис. ... канд. техн. наук: защищена 02.09.1994 / Поляков С. И.; «ВГТУ». – Воронеж, 1994. – 250 с.

5. Поляков, С. И. Математическая модель динамической погрешности дозирования. / С. И. Поляков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – № 6. Т. 7. – С. 74–76.

6. Поляков, С. И. Оценка точности дозирования сыпучего материала / С. И. Поляков // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов. – Брянск, 2002. – Вып.5. – С. 78–81.

7. Поляков, С. И. Прогноз дискретного ряда дозирования / С. И. Поляков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – № 6. Т. 8. – С. 33-35.

8. Поляков, С. И. Прогнозирование процесса дозирования сыпучего материала / С. И. Поляков // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 4. – С. 3-5.

9. Поляков, С. И. Проектирование систем управления: учеб. пособие / С. И. Поляков, Н. П. Зуйкин; М-во образования РФ, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2001. – 133 с.

10. Поляков, С. И. Статистическое прогнозирование и упреждение динамической погрешности дозирования / С. И. Поляков // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – Спецвыпуск. – С. 77–78.

11. 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.

12. Шишмарев, В. Ю. Средства измерений / В. Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.

### References

1. Box, J. Time series analysis: Forecast and management / Box J., Jenkins G.; World. – M., 1974, Issue. 1. – 406 p.

2. Timoshenko, S.P. Fluctuations in engineering: monograph / S. P. Timoshenko, D. H. Young, W. Weaver; Mechanical engineering. – M., 1985. – 472 p.

3. Polyakov, S. I. Autocorrelation and autoregression of a discrete series of dosing of bulk materials / S. I. Polyakov // Forestry complex: state and development prospects: materials of the XIII International Scientific and Technical Internet Conference November 1 – November 30, 2014 . – Bryansk, 2014. – pp. 89–92.

4. Polyakov, S.I. Automation of dosing and accounting for the consumption of components of concrete mixtures: specialty 05.13.07 “Automation of technological processes and production (industry)”: dis. ...cand. tech. Sciences: protected 02.09.1994 / Polyakov S.I.; "VSTU". – Voronezh, 1994. – 250 p.

5. Polyakov, S.I. Mathematical model of dynamic dosing error. / S. I. Polyakov // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2011. – No. 6. T. 7. – P. 74–76.

6. Polyakov, S. I. Assessing the accuracy of dosing bulk material / S. I. Polyakov // Current problems of the forestry complex: collection of scientific papers. – Bryansk, 2002. – Issue 5. – pp. 78–81.

7. Polyakov, S. I. Forecast of a discrete dosing series / S. I. Polyakov // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2012. – No. 6. T. 8. – P. 33-35.
8. Polyakov, S. I. Forecasting the process of dosing bulk materials / S. I. Polyakov // Automation and modern technologies. – 2012. – No. 4. – P. 3-5.
9. Polyakov, S. I. Design of control systems: textbook / S. I. Polyakov, N. P. Zuykin; Ministry of Education of the Russian Federation, State Educational Institution of Higher Professional Education "VGLTA". – Voronezh, 2001. – 133 p.
10. Polyakov, S. I. Statistical forecasting and anticipation of dynamic dosing error / S. I. Polyakov // Izv. universities North Caucasus region. Tech. Sciences. – 2005. – Special issue. – pp. 77–78.
11. 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. – P. 111-117.
12. Shishmarev, V. Yu. Measuring instruments / V. Yu. Shishmarev. – M.: Publishing Center "Academy", 2006. – 320 p.