DOI: 10.58168/PBHT2026_275-279
УДК 674; 681.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СМЕШИВАНИЕМ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ

DESIGN OF AN AUTOMATED MIXING CONTROL SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF PARTICLEBOARD

Мещерякова А.А., кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Грибанов А.А., кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Meshcheryakova A.A., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Automation of Industrial Processes Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Gribanov A.A., PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Automation of Industrial Processes Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация Статья посвящена разработке концепции трехуровневой автоматизированной системы управления процессом смешивания компонентов при производстве древесно-стружечных плит, направленной на поддержание заданного коэффициента неоднородности смеси. В работе предложено использование современных средств неразрушающего контроля в реальном времени, включая БИК-анализаторы и системы машинного зрения, для создания замкнутого контура обратной связи по качеству продукта.

Ключевые слова: системы управления, древесно-стружечные плиты, смешивание, модель, машинное зрение.

Abstract. The article is devoted to the development of the concept of a three-level automated control system for the mixing process of components in the production of chipboard, aimed at maintaining the specified coefficient of heterogeneity of the mixture. The paper proposes the use of modern means of non-destructive real-time control, including BIC analyzers and machine vision systems, to create a closed feedback loop for product quality.

Keywords: control systems, particleboard, mixing, model, machine vision.

Совершенствование процесса смешивания невозможно без создания замкнутой системы адаптивного управления, основанной на принципе обратной связи по качеству выходного продукта. Предлагаемая автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) строится по трехуровневой архитектуре, интегрирующей современные средства измерения, интеллектуальные алгоритмы и

© Мещерякова А. А., Грибанов А. А., 2026

исполнительные механизмы [1-5]. Ее цель – поддержание заданного коэффициента неоднородности смеси (Vc) путем непрерывного мониторинга и динамической коррекции параметров в реальном времени.

Структурно-функциональная схема АСУ ТП включает следующие уровни: датчиковый (весовые дозаторы стружки/связующего, БИК-анализатор, камеры, датчики мощности привода смесителя); контроллерный (ПЛК с реализованным алгоритмом MPC); уровень SCADA/HMI для визуализации и ручного вмешательства.

Уровень 1: Полевой (Датчиковый и исполнительный). Данный уровень обеспечивает непосредственное взаимодействие с технологическим процессом. Он включает в себя:

– первичные датчики расхода и дозирования: прецизионные ленточные или шнековые весовые дозаторы сырой и сухой стружки; электромагнитные или кориолисовые расходомеры для жидкого связующего и отвердителя; датчики уровня в расходных бункерах. Каждый дозатор оснащен приводом с регулируемой скоростью (частотным преобразователем);

– датчики оборотов и мощности на приводе смесителя (характеризуют нагрузку и консистенцию смеси), датчики температуры в зонах ввода связующего и в корпусе смесителя (для контроля вязкости и предотвращения преждевременной полимеризации);

– средства неразрушающего контроля качества In-line БИК (ближний инфракрасный) анализатор и система машинного зрения.

In-line БИК (ближний инфракрасный) анализатор, установленный на выходном лотке смесителя или в зоне выгрузки. В режиме реального времени измеряет спектральные характеристики потока смеси, на основе которых определяется содержание влаги и связующего.

Система машинного зрения, состоящая из высокоскоростной промышленной камеры с контролируемым освещением (для устранения теней) и блоком обработки изображений. Камера направлена на поток смеси после выхода из зоны смешивания. Система анализирует макрооднородность, выявляет комки и зоны с видимым недостатком связующего.

Уровень 2: Контроллерный (Управления и связи). Это ядро системы, где реализуются алгоритмы управления. Роль центрального контроллера выполняет программируемый логический контроллер (ПЛК) промышленного класса (например, семейства Siemens S7-1500 или аналоги).

Функции ПЛК следующие.

Сбор данных – прием и первичная обработка аналоговых и дискретных сигналов со всех датчиков и дозаторов.

Реализация базовой логики (ПИД-регулирование), то есть стабилизация отдельных параметров (например, поддержание общего массового расхода смеси, соотношения потоков стружки и связующего по упрощенной рецептуре).

Реализация расширенного алгоритма MPC (ModelPredictiveControl). На основе динамической математической модели процесса и текущих данных с БИК-анализатора и камер ПЛК прогнозирует качество смеси на несколько шагов вперед и вычисляет оптимальные корректирующие воздействия для дозаторов.

Формирование управляющих сигналов для частотных преобразователей дозаторов.

Сетевой обмен между уровнями. Обеспечение связи с верхним уровнем (SCADA) по промышленному Ethernet (Profinet) и с полевыми устройствами.

Уровень 3: Операторский (Диспетчерский и человеко-машинного интерфейса – HMI). Уровень представления данных и взаимодействия с персоналом. Реализуется на базе SCADA-системы (например, SIMATIC WinCC, Ignition).

Рассмотрим функции SCADA/HMI.

Визуализация – отображение мнемосхемы технологического процесса в реальном времени со всеми показаниями датчиков, статусами оборудования, трендами ключевых параметров (Vc, расходы, мощность привода).

Задание уставок – возможность для оператора или технолога вводить целевую рецептуру (соотношение компонентов), задавать допустимые границы Vc, выбирать режимы работы (пуск, останов, ручное/автоматическое управление).

Сигнализация и архивирование – генерация аварийных и предупредительных сигналов, ведение базы данных всех технологических параметров для последующего анализа, формирования отчетов и прослеживаемости партий продукции.

Интеграция с MES/ERP – передача данных о расходе сырья, производительности, качестве в корпоративные системы планирования и учета.

Принцип работы системы следующий. Оператор задает рецепт смеси (вид плиты, требуемое содержание связующего) через интерфейс SCADA. ПЛК устанавливает начальные уставки для дозаторов на основе рецепта. После выхода процесса на установившийся режим, данные с БИК-анализатора и системы машинного зрения непрерывно поступают в контроллер. Алгоритм MPC в ПЛК, используя встроенную модель, рассчитывает прогнозируемое отклонение текущего Vc от заданного. На основе этого прогноза оптимизатор MPC вычисляет и применяет корректировки к производительности дозаторов стружки и/или связующего, чтобы компенсировать возмущения (изменение влажности стружки, фракционного состава, давления связующего). Система машинного зрения обеспечивает дополнительную верификацию, сигнализируя о появлении макроскопических неоднородностей (комков), которые могут потребовать более резкой коррекции или остановки для обслуживания. Вся информация отображается на мониторах оператора, архивируется, а ключевые метрики качества (средний Vc за смену) передаются на верхний уровень управления.

Структурная схема АСУ ТП представлена на рисунке 1.

Данная схема представляет собой замкнутый контур управления, где качество продукта является не периодически контролируемым параметром, а главной регулируемой переменной, что является ключевым отличием от традиционных систем, управляющих лишь количественными параметрами потоков.

Таким образом, проведенный анализ подтвердил, что основной проблемой процесса смешивания является отсутствие оперативной обратной связи по ключевому параметру – коэффициенту неоднородности (Vc). Существующие методики контроля (гравиметрия, титрование) являются непригодными для целей адаптивного управления из-за высокой временно́й задержки. В качестве основы совершенствованной методики предложено использование двух взаимодополняющих методов неразрушающего контроля в реальном

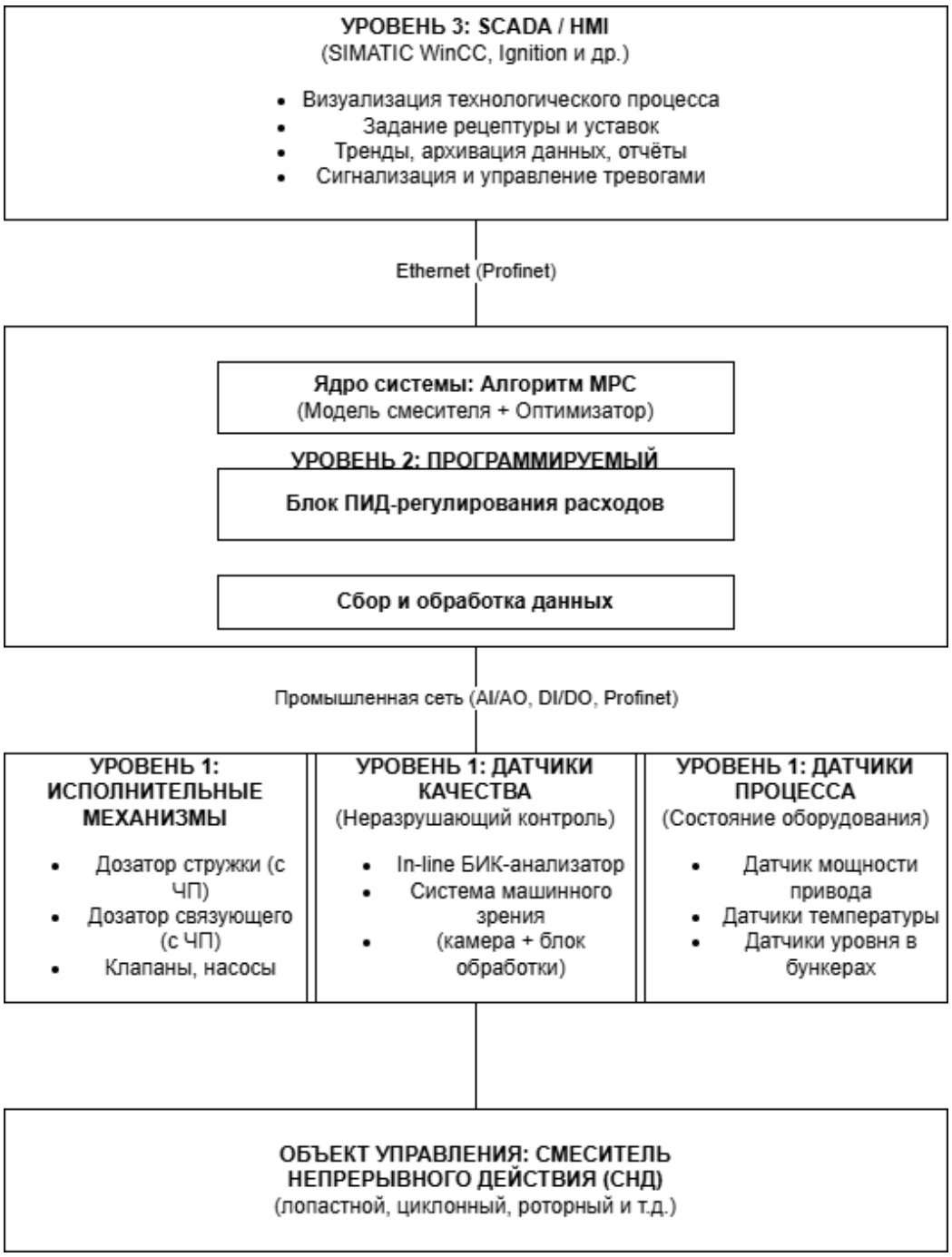


Рисунок 1 – Структурная схема АСУ ТП смешивания в технологическом процессе производства древесно-стружечных плит: ЧП – Частотный преобразователь; AI/AO – Аналоговый вход/выход; DI/DO – Дискретный вход/выход

времени: БИК-спектроскопии для точного измерения содержания связующего и систем машинного зрения для оценки макрораспределения. Разработана концепция АСУ ТП на базе алгоритма управления с прогнозирующей моделью (MPC), которая динамически корректирует работу дозаторов на основе текущих и прогнозных данных о качестве смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробчук, М.В. Обзор современных вибрационных смесителей сыпучих материалов и тенденции их развития / М.В. Коробчук, А.Н. Веригин // Южно-сибирский научный вестник. – 2020. – № 4 (32). – С. 34-45.

2. Мещерякова, А.А. Разработка стратегии продвижения CASE-средств / А.А. Мещерякова, Ю.А. Пяткова // Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее: сборник статей II Международной научно-технической конференции. В 3-х томах. – Воронеж, 2020. – С. 103-106.

3. Двухмерная модель фракционирования мелкодис-персных сыпучих материалов на ситовых тканях / В.А. Огурцов, Е.И. Купнов, А.П. Алешина, А.В. Огурцов, А.М. Фатахетдинов // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021, № 1. – С. 133-137.

4. Соловьева, Т.В. Технология древесноволокнистых плит, технология древесно-стружечных плит, технология композиционных материалов и пластиков. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48.01.05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1-48.01.05.02 «Технология древесных плит и пластиков» / Т.В. Соловьева, А.А. Пенкин. – Минск : БГТУ, 2009. – 144 с.

5. Королев, Л.В. Метод оценки качества смешения сыпучих материалов по распределению частиц в плоском сечении рабочего объема / Л.В. Королев, М.Ю. Таршис // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. – Иваново, 2002. – Т. 45, № 1. – С. 98-100.

REFERENCES

1. Korobchuk, M.V. Review of modern vibratory mixers for bulk materials and their development trends / M.V. Korobchuk, A.N. Verigin // South Siberian Scientific Bulletin. – 2020. – No. 4 (32). – P. 34-45.

2. Meshcheryakova, A.A. Development of a strategy for promoting CASE tools / A.A. Meshcheryakova, Yu.A. Pyatkova // Integration and development of scientific, technical and educational cooperation - a look into the future: collected articles from the II International Scientific and Technical Conference. In 3 volumes. – Voronezh, 2020. – P. 103-106.

3. Two-dimensional model of fractionation of finely dispersed bulk materials on sieve fabrics / V.A. Ogurtsov, E.I. Kupnov, A.P. Aleshina, A.V. Ogurtsov, A.M. Fatakhetdinov // News of Universities. Technology of the Textile Industry. – 2021, No. 1. – P. 133-137.

4. Solovieva, T.V. Technology of wood fiber boards, technology of particle boards, technology of composite materials and plastics. Laboratory practical training: a teaching aid for students of specialty 1-48.01.05 "Chemical technology of wood processing" specialization 1-48.01.05.02 "Technology of wood boards and plastics" / T.V. Solovieva, A.A. Penkin. – Minsk: BSTU, 2009. – 144 p.

5. Korolev, L.V. Method for assessing the quality of mixing bulk materials by the distribution of particles in a flat section of the working volume / L.V. Korolev, M.Yu. Tarshis // News of Universities. Chemistry and Chemical Technology. – Ivanovo, 2002. – Vol. 45, No. 1. – P. 98-100.