

УДК 004.925.8

Баженов Евгений Иванович, аспирант,
Российский биотехнологический университет

Каргин Виталий Александрович,
доктор технических наук, доцент,
Российский биотехнологический университет

Мокрушин Сергей Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
Российский биотехнологический университет

АНАЛИЗ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ ААТС ДЛЯ УСЛОВИЙ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье представлен анализ применения систем навигации автоматизированных автономных транспортных систем (ААТС) в условиях хлебопекарного производства. Особое внимание уделяется анализу влияния факторов хлебопекарной среды на работу навигационного оборудования. Проводится сравнительный анализ преимуществ и ограничений различных технологий, а также предлагаются рекомендации по их адаптации для обеспечения стабильной работы в агрессивной производственной среде.

Ключевые слова: Хлебопекарное производство, автоматизация, логистика, автономные транспортные средства, навигационные системы.

Интеграция систем навигации автоматизированных автономных транспортных систем (ААТС) в хлебопекарное производство представляет собой перспективное направление оптимизации внутрицеховой логистики. Современные технологические процессы требуют минимизации человеческого фактора для повышения точности операций и снижения рисков повреждения продукции. Внедрение ААТС с адаптированными навигационными решениями позволяет обеспечить предсказуемость перемещений сырья и готовых изделий между технологическими зонами. Это создает предпосылки для сокращения простоев оборудования и формирования устойчивой производственной цепи.

Целью исследования является комплексный анализ навигационных технологий ААТС с последующей разработкой рекомендаций по их адаптации для хлебопекарных предприятий.

Ключевая проблема заключается в несоответствии стандартных навигационных решений условиям хлебопекарных цехов. Повышенная влажность, концентрация мучной пыли и температурные колебания негативно влияют на точность сенсоров лидаров, камер и инерциальных систем. Это приводит к сбоям в маршрутизации, увеличивая риск столкновений и порчи продукции. Требуется целенаправленная адаптация аппаратно-программных компонентов для обеспечения стабильности работы в агрессивной среде [1,2,3].

Применимость различных типов навигационных систем в промышленных условиях. Навигационные технологии для автономных транспортных систем классифицируются по принципу действия и по функциональным возможностям, что позволяет выделить несколько основных групп. К ним относятся спутниковые системы позиционирования (GPS/ГЛОНАСС и их сервисы дополнения), активные дистанционные датчики (лидар, ультразвук), пассивные оптические системы (камеры) и инерциальные навигационные системы на базе датчиков ускорения и угловой скорости. Функционально эти категории обеспечивают локализацию, построение карт, обнаружение и избегание



препятствий, а также поддержку траекторного управления и интеграцию с системами планирования пути. Такая классификация формирует основу для сопоставления характеристик и выбора комбинаций датчиков в промышленных условиях [4, 5, 6].

Спутниковые системы позиционирования обеспечивают абсолютную привязку к геодезическим координатам и обладают высокой автономностью работы на открытых пространствах, но их точность и надежность зависят от доступности сигналов и наличия корректирующих сервисов. Ограничения спутниковых решений проявляются при работе в помещениях и условиях экранирования сигналов [7]. Лидарные системы и камеры реализуют пространственное восприятие окружающей обстановки и обеспечивают высокое разрешение локальных моделей сцены, что критично для обнаружения мелких препятствий и точной оценки расстояний. Лидар характеризуется дальностью измерений, угловым разрешением и скоростью сканирования, тогда как камеры зависят от освещенности, динамического диапазона и алгоритмов обработки изображений. Ультразвуковые датчики предлагают простоту и низкую стоимость при ограниченных диапазонах и углах обзора, а инерциальные измерительные блоки дают высокую частоту обновления ориентации и ускорений, но имеют дрейф интегральных ошибок. Для практических задач важны соотношение точности, надежности, вычислительных требований и устойчивости к внешним воздействиям.

Современные тенденции развития навигационных технологий для автономных транспортных средств направлены на синергетическую интеграцию разных типов датчиков и алгоритмов, включая методы «Sensor fusion» и модели SLAM. Увеличивается роль методов машинного обучения для семантического понимания сцены и повышения устойчивости локализации в изменяющихся условиях. Параллельно наблюдается рост вычислительных возможностей на борту и развитие энергоэффективных архитектур, что позволяет реализовывать более сложные алгоритмы в реальном времени. Эти тенденции способствуют созданию гибридных систем, способных адаптироваться к различным производственным сценариям [8].

Сравнительный анализ показывает, что каждая технология обладает характерным набором преимуществ и ограничений, определяющих её применимость в конкретных условиях эксплуатации. Спутниковые решения эффективны на открытых площадках, но ограничены в помещениях; лидар и камеры обеспечивают высокую точность локального позиционирования, но чувствительны к запылённости и освещённости соответственно. Инерциальные системы обеспечивают высокочастотную инерциальную подсказку, но требуют регулярной коррекции для устранения дрейфа, а ультразвук ограничен по дальности и разрешению [9, 10, 11, 12]. В результате оптимальные решения строятся на комбинировании технологий с учётом требований к точности, надежности и условиям рабочей среды, что логически переходит к анализу воздействия специфики хлебопекарной среды.

Анализ факторов хлебопекарной среды. Температурные режимы и повышенная влажность в хлебопекарных цехах оказывают прямое влияние на характеристики сенсоров и навигационного оборудования. Тепловые колебания вызывают дрейф параметров инерциальных датчиков и смещение оптической калибровки, тогда как высокая влажность способствует запотеванию линз и оптических элементов, а также ускоряет коррозионные процессы в электрических контактах. В результате нарушается стабильность измерений, увеличивается частота ложных срабатываний и снижается срок службы компонентов. При выборе системы навигации необходимо учитывать возможности конструктивной защиты и климатической стабилизации датчиков: использование герметичных корпусов с классом защиты IP, теплообменников или встроенных нагревателей, а также осушителей внутри корпусов. Важную роль играет проектирование регулярных процедур калибровки и профилактического технического обслуживания для коррекции температурных дрейфов и



удаления конденсата с оптических поверхностей. Также следует отдать предпочтение компонентам с подтверждённой работоспособностью в заданных диапазонах температуры и влажности и предусмотреть запас по надёжности для условий производственной эксплуатации.

Уровень электромагнитных помех от технологического оборудования и металлических конструкций цеха влияет на работу магнитных и радиочастотных датчиков и может вызывать ошибки в системах позиционирования, использующих беспроводные сигналы. Источниками помех являются мощные электродвигатели, частотные преобразователи и заземлённые массивные конструкции, что требует проведения предварительного обследования электромагнитной обстановки на рабочем участке. Для снижения влияния помех используются экранирование, фильтрация сигналов, экранированные кабели и применение альтернативных или резервных методов определения положения, не зависящих от радиочастотных измерений.

Комбинированное воздействие пыли, влажности и температурных перепадов приводит к синергетическому ухудшению показателей надёжности систем позиционирования, поскольку разные факторы одновременно влияют на оптику, электронику и механическую стабильность. Совокупность эффектов усложняет задачу фильтрации и оценки достоверности измерений, что повышает вероятность ложных срабатываний и пропусков при локализации. Наличие параллельных деградиционных процессов снижает диагностируемость причин ухудшения работы и повышает затраты на обслуживание. Реализация стратегии повышения надёжности требует учета взаимосвязей между факторами среды, внедрения мер защиты и разработки алгоритмов адаптивной фильтрации данных с учётом характерных режимов отказов. Понимание совокупного воздействия формирует основу для проектирования резервирования сенсорного набора и регламентов обслуживания, что позволит сохранить функциональность навигации в агрессивной хлебопекарной среде.

Выводы. В результате проведенного исследования установлено, что внедрение автоматизированных автономных транспортных систем (ААТС) в хлебопекарное производство требует комплексной адаптации навигационных систем к специфическим условиям производственной среды.

Выявлено, что стандартные навигационные решения недостаточно эффективны в условиях повышенной влажности, температурных колебаний и концентрации мучной пыли. Наиболее перспективным подходом является использование гибридных систем навигации, сочетающих различные типы датчиков.

Определено, что для стабильной работы ААТС необходимо обеспечить:

- Повышенную защиту оборудования от пыли и влаги
- Системы климатической стабилизации
- Регулярное техническое обслуживание
- Алгоритмы адаптивной фильтрации данных

Успешное применение ААТС в хлебопекарной отрасли возможно при условии предварительного обследования производственной среды и разработки специальных мер защиты навигационного оборудования. Внедрение адаптированных систем навигации позволит оптимизировать внутрицеховую логистику и минимизировать человеческий фактор в технологических процессах.

Список литературы:

1. Петухов С.В. Методы автономной навигации при попятном движении робота по запомненным ориентирам на пройденной траектории / С. В. Петухов // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2008. - N 8 (89). -С. 30-34.



2. Стойчич М., Стевич Ж., Николич А., Божичкович Ж. Многокритериальная модель оценки и выбора автоматически управляемых транспортных средств (AGV) для складов // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2019. Т. 9. №1. С. 4 - 20.
3. Войтович, И. Д., Корсунский В. М. Интеллектуальные сенсоры : учеб. пособие. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. С. 51-53. ISBN 978-5-9963-0124-9.
4. Кучерский, Р. В., Манько С. В. Алгоритмы локальной навигации и картографии для бортовой системы управления автономного мобильного робота // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 3. С. 13-22. ISSN 1999-9429.
5. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. - 3-е изд. - СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2003. - 370 с.
6. Мартыненко Ю.Г. Инерциальная навигация // Соровский образовательный журнал. - 1998. - № 8. - С. 102-108.
7. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. Под. Ред. В.Н. Харисова, Ф.И. Петрова, В.А. Болдина. Москва. ИПРЖР, 1999. 560с.
8. Старовойтов Е.И. Системы навигации автономных роботов. – Москва: Кнорус, 2024. – 244 с.
9. Ткаченко А.И. Вариант навигации мобильного робота с помощью камеры / А. И. Ткаченко // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2008. - N 4. - С. 139-145.
10. Матвеев В.В. Инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. - Тула.: ТулГУ, 2012. - 199с.
11. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Под редакцией В.С. Алешина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского. - М.: Физматлит, 2006. - 424с.
12. Тимошенко С.П., Кульчицкий А.П. Применение МЭМС-сенсоров в системах навигации и ориентации подвижных объектов //Известия вузов. Электроника. - 2012. - №6. - С. 51-56.

