

## ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОГО ПЕРЕХОДА К СМЕШАННОМУ ДВИЖЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И НЕАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛАХ

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-18-00452)*

*Введение.* Для повышения производительности контейнерных терминалов по всему миру применяют широкий спектр автоматизированных систем, таких как автоматически управляемое транспортное средство. В настоящее время, как правило, такие транспортные средства используются отдельно от неавтоматизированного оборудования. Совместное использование в контейнерных терминалах требует цифровых инфраструктурных изменений [1,2].

*Результаты.* Автоматизированные транспортные средства в контейнерных терминалах (Automated Yard Tractors, AYT) управляются автономно с помощью датчиков, таких как GPS, радары и лидары. Требуется разработка смешанного интегрированного движения автоматизированного и неавтоматизированного транспорта.

В целях перехода к смешанному трафику предлагается учитывать следующее:

1. Требуется решения по установке дополнительных маяков GPS или другие решения для точного измерения местоположения и ориентации. Решения могут включать в себя стационарные системы камер с передовым программным обеспечением для распознавания транспортных средств. Подобный подход, но с беспилотными транспортными средствами, оснащенными камерами, может предложить большую гибкость по сравнению с фиксированными камерами. Неточное определение ориентации беспилотного транспортного средства может привести к плохой синхронизации с другим оборудованием, попаданию в тупик или даже аварии.

2. Поскольку терминалы во всем мире сталкиваются с растущим давлением с целью быстрого оборота судов, их размеры увеличиваются. Эти изменения также требуют больших флотов транспортных средств для перемещения контейнеров в целях удовлетворения требований к производительности, например, времени оборота судна (VTT). Соответственно, следует точно определять количество транспортных средств в системе с учетом желаемой производительности терминала. Автоматизация транспорта требует большего количества транспортных средств для достижения той же производительности. Это происходит главным образом из-за цифровых систем безопасности, требуемых для беспилотного транспорта.

3. Как правило, в терминалах с транспортом, управляемым вручную, водители назначаются одному крану для упрощения задач. При развертывании беспилотного транспорта это не требуется и может быть введена система полного или частичного объединения. Это увеличивает гибкость флота и может обеспечить надежное решение в условиях неопределенности.

4. Развертывание беспилотного транспорта и цифровых систем управления позволяет использовать динамические правила дорожного движения с параметрами, меняющимися в зависимости от состояния терминала, например, от величины VTT. Практики должны сбалансировать потенциальное увеличение эксплуатационных характеристик из-за динамических правил трафика с понятностью правил для неавтоматизированной части смешанного трафика.

5. Решающее значение в управлении беспилотным транспортом имеют бортовые датчики и коммуникационные технологии. Транспорт связывается друг с другом и обменивается информацией о собственном статусе, а также о трафике (например, препятствиях). Система управления должна выдавать оповещения (например, об авариях, объездах, рекомендациях по скорости и т. д.) Сенсоры должны быть в состоянии точно измерить относительное расстояние, угол и скорость транспорта по сравнению со всеми близлежащими транспортными средствами. Передовые продольные датчики должны иметь достаточную дальность действия, чтобы обеспечить возможность безопасных аварийных остановок. Датчики, обращенные назад, должны обнаруживать потенциальные угрозы столкновения сзади. Они также необходимы для определения доступного расстояния при смене полосы движения. Боковые датчики также служат последней цели. Они обнаруживают, есть ли какое-либо транспортное средство в непосредственной близости.

6. Контейнерные терминалы должны принять четкие правила смешанного дорожного движения и согласования скорости между пилотируемыми и беспилотными транспортными средствами [3]. Это обеспечит компромисс между соблюдением требованиями безопасности, эффективной работой и оптимальным количеством используемых транспортных средств. Нарушение скорости выявляется немедленно и может привести к соответствующим вмешательствам. Кроме того, благодаря цифровому управлению ограничения скорости могут быть динамически распределены в течение дня, в зависимости от состояния системы (например, уменьшить ограничение скорости в часы пик).

7. Предлагается использовать децентрализованную систему управления движением, в которой беспилотный транспорт самостоятельно контролирует свое движение с использованием современных систем датчиков для отображения окружения [4]. При этом надо учитывать характеристики различных типов иерархического контроля с точки зрения эффективности, масштабируемости и надежности.

8. Для удовлетворения заявленных требований к работе терминала желательно использовать комплекс технологий, например, адаптивные, самоорганизующиеся системы, основанные на мультиагентной технологии, с применением объектно-ориентированного программирования, искусственного интеллекта, телекоммуникаций и параллельного вычисления; Интернет вещей (IoT) и другие [5].

*Будущие исследования.* Необходимы дальнейшие исследования для разработки моделей для оптимального проектирования и управления. В частности, важно разработать систему, основанную на правилах, которая гарантирует безопасный трафик в контейнерном терминале.

*Заключение.* В статье рассмотрены потенциальные выгоды от введения автоматизированных транспортных средств в контейнерных терминалах (АУТ) в сравнении с трудностями, которые приносит смешанный трафик. Для решения возникающих при смешанном движении беспилотных и пилотируемых транспортных средств проблем предлагается процесс перехода к самоорганизующейся мультиагентной системе на основе датчиков, обеспечивающей эффективную и безопасную обработку контейнеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Майданова С.А. Ильин И.В. Стратегический подход к цифровой трансформации глобальной судоходной контейнерной линии // Логистика и управление цепями поставок, 2018, № (88), С. 14-28
2. Швецов В.Л., Прохоров А.В., Ильин И.В. Транспортные модели в системе государственного управления. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2009. № 5 (85). С. 20-27.
3. P. Loannou, A. Bose. "Evaluation of mixed automated/manual traffic," USC CATT Report No. 97-09-10, September 1997.

4. M. Mes, M. Van Der Heijden, A Van Harten. "Comparison of agent-based scheduling to look-ahead heuristics for real-time transportation problems," European journal of operational research, 2007, pp. 59-75.
5. Дубгорн А.С., Ильин И.В., Левина А.И. Технология "Интернет вещей" в архитектуре интеллектуальных транспортных систем. Наука и бизнес: пути развития. 2017. № 6 (72). С. 99-103.