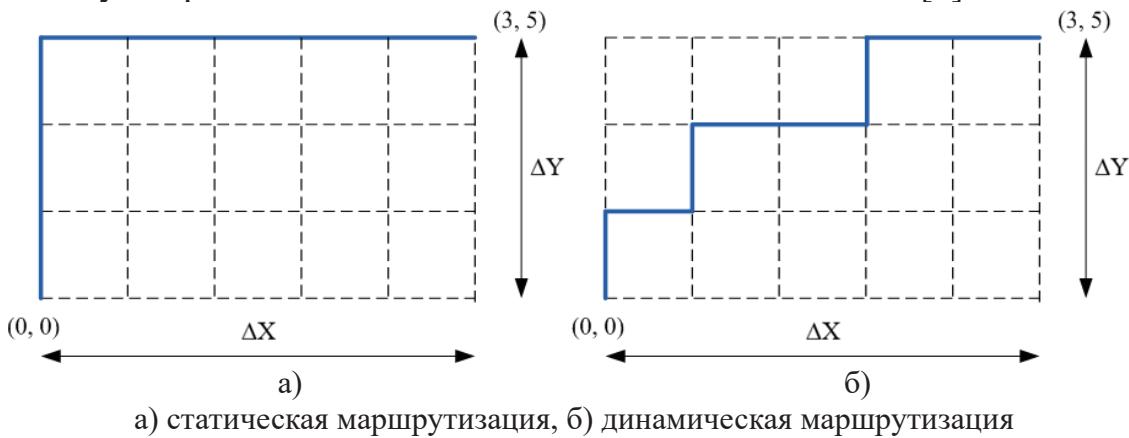


## АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ РАБОТ

При автоматизации транспортно-складских работ с помощью автоматически управляемых средств (AGV – Automatic guided vehicle) построение маршрутов их движения является важной задачей, которая обеспечивает эффективность работы всего производства [1-3]. Как правило, в производстве участвует несколько средств AGV, которые передвигаются по намеченному пути, которые прокладываются с помощью магнитных лент, магнитных маркеров и других способах [4].

Пути оптимального движения AGV могут составляться заранее, а могут в режиме реального времени, позволяя реагировать на возникшие потребности транспортировки изделий или при появлении на пути препятствий, остановки и т.д. На рис. 1 показано различие в оптимальном пути при статической и динамической оптимизации [3].



а) статическая маршрутизация, б) динамическая маршрутизация

Рисунок 1 – Оптимальный маршрут движения

Задача маршрутизация движения AGV решается классическим способом, если каждое транспортное средство движется только по заранее отведенному пути от одного пункта отправления к пункту назначения, и такие проблемы как перегрузка, взаимоблокировка и зарядка никогда не возникают, но такое в реальных условиях встречается редко и требует лишнего свободного пространства.

Маршрутизация AGV отличается от классической задачи планирования движения транспортной сети следующими моментами [5]:

- система AGV ограничена пространством пути, поэтому AGV могут сталкиваться друг с другом и останавливаться;
- кратчайший путь AGV необязательно занимает наименьшее время;

– расположение путей AGV можно пересмотреть и изменить для получения наилучшего решения по маршрутизации.

На пути движения AGV могут возникать конфликтные ситуации в случаях:

– два устройства движутся последовательно друг за другом, но с различной скоростью, поэтому второе AGV может настигнуть первое транспортное средство. Для решения этой проблемы необходимо, чтобы все AGV двигались с одной скоростью;

– два устройства движутся навстречу друг другу по одной линии. Для предотвращения такой ситуации надо считать участок пути недоступным, если по нему движется хотя бы одно AGV;

– на пути встречается барьер, который невозможно обехать, что требует остановки и ожидания, когда барьер исчезнет. Чтобы остановки на пути не было, AGV не должен выезжать на этот путь;

– одновременного проезда перекрестных путей. Следует предусмотреть последовательное прохождение данного участка.

Поэтому актуальна динамическая задача оптимизации схемы маршрутов движения, а не задача поиска наилучшего маршрута движения до необходимых пунктов назначения.

Пусть имеется набор задач  $M = \{1, 2, \dots, m\}$  по перевозке груза в пространстве производства,  $V = \{1, 2, \dots, v\}$  – набор AGV средств,  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$  – набор значений времени, требующегося на выполнение определенной задачи,  $T' = \{T'_1, T'_2, \dots, T'_m\}$  – время начала выполнения определенного задания,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  – набор номеров AGV, которые будут выполнять последовательность  $M$  заданий,  $N$  – набор узлов пространства, по которому перемещаются AGV,  $N_1$  – набор узлов буферной области, к которой относится место загрузки транспортного средства. Каждое задание на перевозку груза выполняется только одним средством AGV.

При реализации последовательности заданий по перевозке грузов из набора  $M$  следует решить проблему выбора определенного средства AGV. Для распределения задач между средствами AGV разработан алгоритм, схема которого приведена на рис. 2. Данный алгоритм находит AGV, которому требуется минимальное время для начала выполнения задания, т.е. определяет наборы  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  и  $T' = \{T'_1, T'_2, \dots, T'_m\}$ .

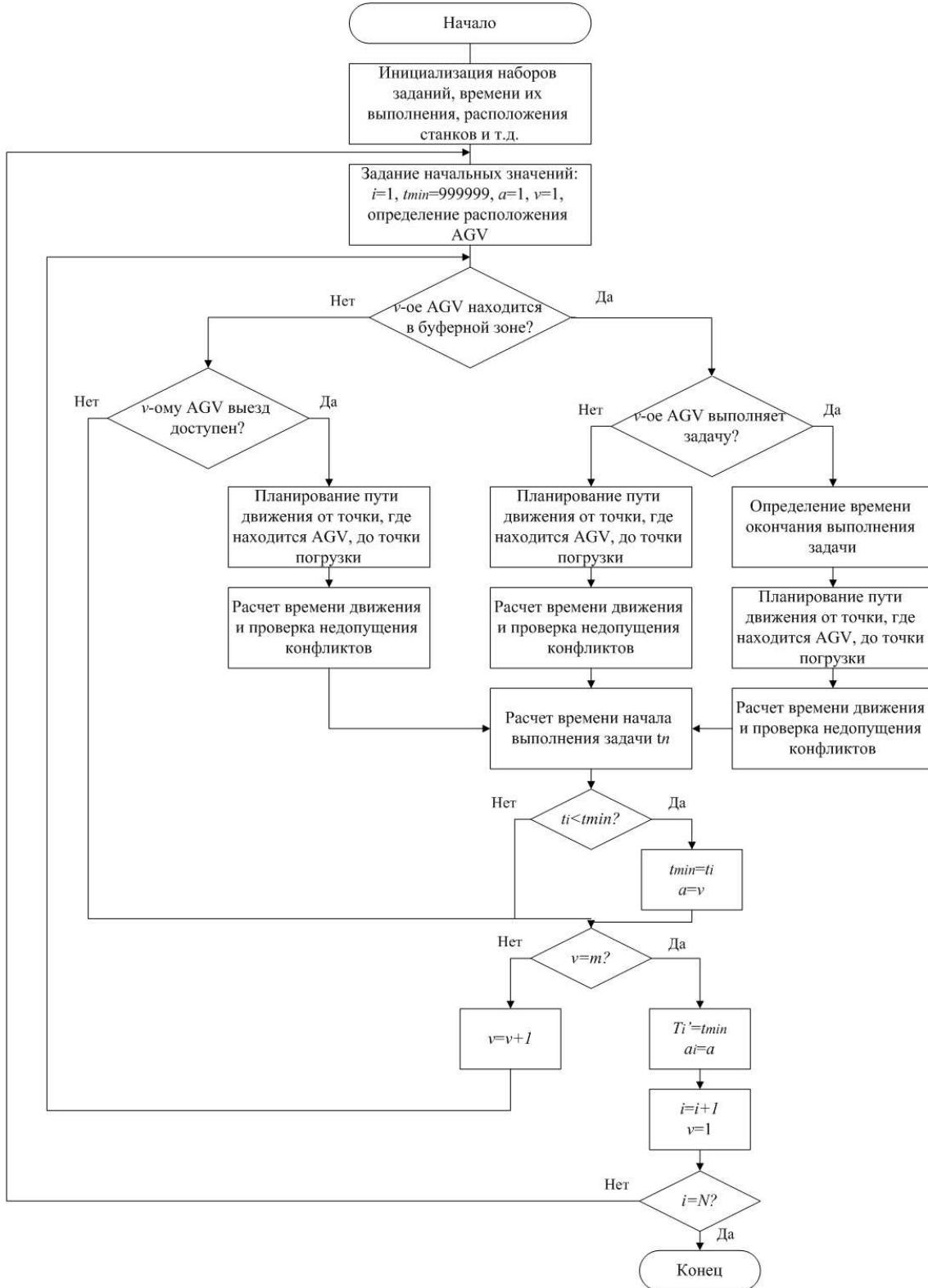


Рисунок 2 – Схема алгоритма распределения задач AGV

Вначале происходит инициализация исходных данных, а далее последовательно обрабатываются задания на перевозку груза. В конкретный момент времени AGV находится в одном из двух состояниях

– ожидающие или выполняющие задания. Неработающие AGV, ожидающие команду на выполнение, могут стоять в буферной зоне или возвращаться после окончания текущего задания. Если AGV ожидает в буферной зоне, то необходимо проверить доступность выезда с места стоянки. Если в-ое AGV может выехать, то планируется путь движения, время отклика считается равным 0, проверяется недопустимость конфликтных ситуаций. Для AGV, которое возвращается в буферную зону, вначале следует спланировать путь к начальной точке новой задачи от текущего местоположения AGV, а затем рассчитать время, затраченное на путь. Время отклика в этом случае будет равно времени движения к месту погрузки.

Если AGV выполняет текущую задачу, то время отклика для начала новой задачи будет вычисляться как сумма оставшегося времени на выполнение текущей задачи и времени движения к начальной точке новой задачи. Сравнивая время начала выполнения рассматриваемой задачи всех AGV выбирается средство, которое может быстрее всех приступить к задаче.

Таким образом, разработанный алгоритм распределения задач средствам AGV позволяет оптимизировать маршрутизацию транспортных средств с возможностью предотвращения остановок и столкновений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимова, С.А. Особенности автоматизации склада на базе WMS / С.А. Евдокимова, А.А. Вострикова // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы XXIV Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2024. – С. 993-997.
2. Новикова, Т.П. Разработка и исследование базовой модели PERT для планирования работ по проекту / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 75-81.
3. Digital-Twin-Driven AGV Scheduling and Routing in Automated Container Terminals / P. Lou [et al.] // Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – C. 2678.
4. Евдокимова, С.А. Модель процессов при автоматизации склада на основе IoT и WMS / С.А. Евдокимова, А.И. Гончарова // Моделирование информационных систем и технологий : материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2024. – С. 304-310.
5. An Approach to Integrated Scheduling of Flexible Job-Shop Considering Conflict-Free Routing Problems / J. Sun [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23. – С. 4526.