

СЕКЦИЯ 3

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

УДК 656.132

ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ МАРШРУТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИМАРШРУТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

АЗЕМША С. А.

*(Белорусский государственный университет транспорта;
г. Гомель, Республика Беларусь)*

Эффективность работы пассажирских маршрутных транспортных средств (МТС) во многом определяется принятой технологией организации движения и использования маршрутных транспортных средств. На практике планирование их работы часто выполняется по отдельным маршрутам, что позволяет улучшать локальные показатели, однако не обеспечивает наилучшего результата для маршрутной сети в целом. Такой подход не решает в полной мере задачу закрепления МТС за езками, не учитывает полностью режимы труда и отдыха водителей и не гарантирует достижения глобального экстремума для всей сети [1–2].

В англоязычной научной литературе задачи назначения МТС на рейсы рассматриваются в рамках класса *vehicle scheduling problem* (VSP). В типовых постановках обычно учитываются покрытие рейсов, непрерывность цепочек, депо-замкнутость, ограничения по составу парка, временные окна и ряд других эксплуатационных факторов [4–5]. Вместе с тем анализ методов VSP/MDVSP показывает, что применительно к МТС регулярного сообщения они имеют ряд ограничений. Во многих моделях отсутствует явный учет отстоя на конечных пунктах, инфраструктурные лимиты конечных остановочных пунктов не рассматриваются как самостоятельный ресурс, а технологическая сторона организации работы МТС раскрыта недостаточно полно.

В связи с этим представляет интерес мультимаршрутное планирование, при котором объектом организации становится не отдельный маршрут, а совокупность рейсов всей маршрутной сети [3]. В рамках данного подхода каждая ездка рассматривается как элемент общего множества транспортных работ, а допустимые переходы между езками формируют цепочки работы МТС в течение дня. Это позволяет рассматривать МТС не в пределах одного маршрута, а в масштабе сети, включая выезд на линию, выполнение нескольких рейсов, межрейсовые переходы, ожидания и завершение работы [3] (рисунок 1).

Сущность мультимаршрутного планирования состоит в том, МТС закрепляется не за конкретным маршрутом, а за цепочкой рейсов, сформированной по условиям временной совместимости и эксплуатационной выполнимости [3]. Иными словами, объектом планирования становится не выпуск на отдельном маршруте, а последовательность транспортной работы в масштабах всей маршрутной сети. Такой подход расширяет возможности комбинирования рейсов, повышает гибкость использования парка пассажирских транспортных средств и создает предпосылки для более рациональной организации перевозок.

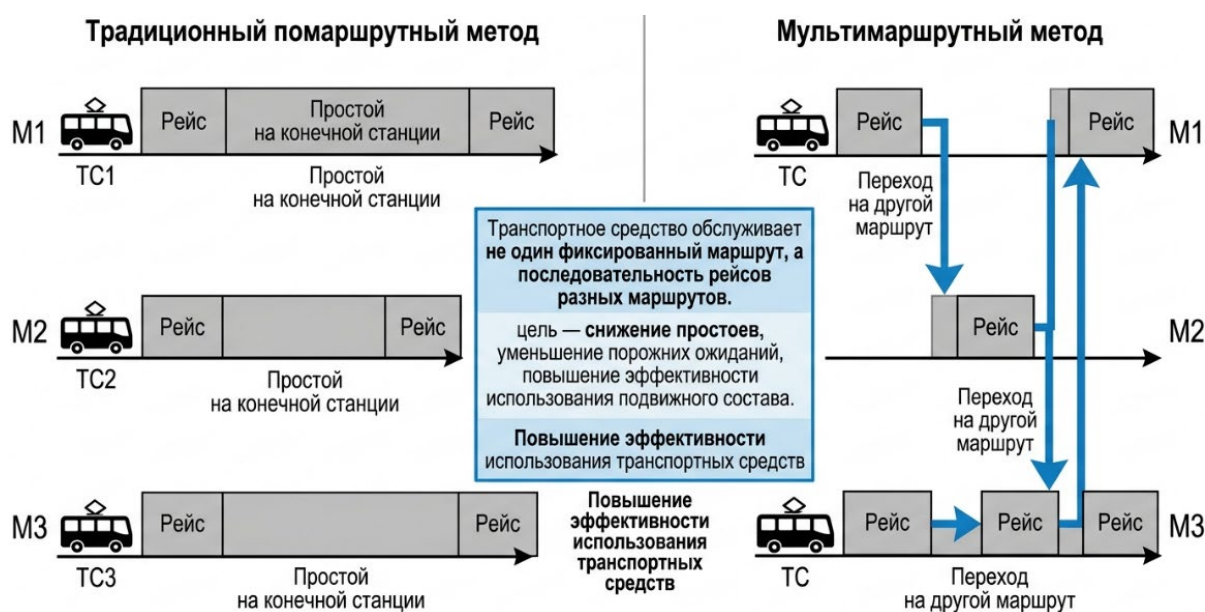


Рисунок 1. – Схема мультимаршрутного планирования работы автобусов в маршрутной сети

В основе мультимаршрутного планирования лежит представление суточного набора ездки в виде ориентированного атрибутированного графа, в котором каждая вершина соответствует отдельной езде, а дуги отражают допустимые переходы между езтками с учетом времени, порожних пробегов и других условий выполнимости [3]. При этом множество вершин включает не только пассажирские ездки, но и технические первые и вторые нулевые ездки, задающие соответственно выезд транспортного средства из места постоянной дислокации и его возврат после завершения работы. На этой основе формируется множество допустимых цепей графа, каждая из которых представляет собой возможный вариант выполнения последовательности ездки одним автобусом в течение смены.

По сравнению с помаршрутной организацией работы мультимаршрутное планирование обладает рядом преимуществ. Во-первых, решения принимаются на уровне всей сети, а не по отдельным маршрутам, что уменьшает вероятность локально эффективных, но глобально нерациональных решений [1, 2]. Во-вторых,

появляется возможность более гибкого МТС за рейсами разных маршрутов. В-третьих, данный подход лучше приспособлен к учету реальных ограничений эксплуатации, связанных с депо, межрейсовыми ожиданиями, режимом труда и отдыха водителей [3], а также условиями отстоя МТС.

С технологической точки зрения организация работы МТС на основе мультимаршрутного планирования может быть представлена как последовательность нескольких этапов. На первом этапе формируется суточный набор рейсов всей маршрутной сети. На втором этапе для каждого рейса определяются допустимые переходы к следующим рейсам с учетом времени окончания и начала, возможного порожнего пробега и иных условий выполнимости. На третьем этапе из этих переходов формируются допустимые цепочки работы МТС. Каждая такая цепочка представляет собой реальный вариант работы одного МТС в течение смены: от выезда на линию до возвращения в место дислокации [3].

Существенное практическое преимущество мультимаршрутного планирования проявляется при необходимости добавления отдельных рейсов. Если по условиям перевозочного процесса (например, жалоб со стороны пассажиров) требуется усиление движения, новый рейс включается не только в рамки одного маршрута, а в общий набор рейсов сети. Далее он может быть встроен в уже существующую цепочку МТС либо использован при перераспределении нескольких цепочек между МТС. Благодаря этому изменение не обязательно требует полной перестройки выпуска на конкретном маршруте. При помаршрутной организации такая операция, как правило, сложнее, поскольку МТС жестче связано с определенным маршрутом, а изменение даже одного рейса часто требует пересмотра локальной схемы работы.

Аналогичным образом решается задача снятия отдельных рейсов (например, по результатам мониторинга пассажиропотока). Если часть рейсов становится избыточной, они могут быть исключены из суточного плана, после чего оставшиеся рейсы перераспределяются между МТС путем корректировки цепочек. При мультимаршрутном подходе такая перенастройка выполняется на уровне сети, а не в пределах одного маршрута, что делает систему более гибкой и адаптивной. Тем самым мультимаршрутное планирование выступает не только как способ математического распределения рейсов, но и как технология оперативной реорганизации работы МТС.

Отдельного внимания заслуживает связь мультимаршрутного подхода с реальными ограничениями эксплуатации. Его развитие позволяет учитывать не только распределение МТС по рейсам, но и такие практически значимые факторы, как межрейсовый отстой, перерывы, возврат в депо, многодеповость [3] и инфраструктурные ограничения конечных остановочных пунктов (емкость конечных остановочных пунктов). В частности, при дефиците мест для отстоя ожидание на конечном пункте может заменяться последовательностью «порожний пробег в место постоянной

дислокации – отстой – пробег к следующему рейсу», что повышает практическую реализуемость принимаемых решений.

Таким образом, мультимаршрутное планирование целесообразно рассматривать не только как метод оптимизационного назначения МТС на рейсы, но и как технологию организации работы МТС. Ее основное достоинство состоит в том, что она обеспечивает более гибкое формирование суточных заданий, облегчает добавление и снятие отдельных рейсов и позволяет принимать решения в масштабе всей маршрутной сети. Перспективы дальнейшей работы связаны с алгоритмической и вычислительной реализацией метода, а также с его апробацией на данных конкретных сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аземша, С. А. Мультимаршрутный метод организации работы городского пассажирского транспорта регулярного сообщения / С. А. Аземша // Перспективы развития транспортного комплекса : сб. ст. / Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника» ; редкол.: В.С. Миленский [и др.] ; рец.: А.А. Ерофеев, А.О. Лобашев. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2024. – URL: <https://www.transtekhnika.by/nauchnye-razrabotki/nauchnye-publikatsii/>. – С. 180–186.
2. Аземша, С. А. Обоснование целесообразности и постановка задачи мультимаршрутной организации работы пассажирских транспортных средств регулярного сообщения / С. А. Аземша // Прогрессивные технологии в транспортных системах : материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под редакцией В.И. Рассохи; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2025. – 492 с. – С. 12–20.
3. Аземша С.А. Мультимаршрутный метод организации работы транспортных средств // Вестник СиБАДИ. 2025. Т. 22. № 1. С. 38–53.
4. Dauer A., Prata B. Variable fixing heuristics for solving multiple depot vehicle scheduling problem with heterogeneous fleet and time windows // Optimization Letters. 2021.
5. Xu X., Ye Z., Li J., Wang C. Solving a Large-Scale Multi-Depot Vehicle Scheduling Problem in Urban Bus Systems // Mathematical Problems in Engineering. 2018.