

УДК 656.224

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук, Т. А. ВЛАСЮК, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ ХАБОВ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Приведена оценка развития логистики пассажирских перевозок и влияющих факторов на изменение их объемов. Представлена формализация построения моделей развития пассажирских хабов с использованием основ теории транспортных систем. Приводятся основные теоретические положения по обоснованию создания и функционирования пассажирских хабов с учётом современных требований по освоению пассажиропотоков различной технологической направленности.

**П**ассажирские перевозки в Республике Беларусь являются социально значимым сектором экономики страны, что требует повышения их качества и дальнейшего развития. Однако, как показал анализ выполненных пассажирских перевозок на различных видах транспорта за последние 25 лет, наблюдается устойчивая тенденция их снижения (рисунок 1).

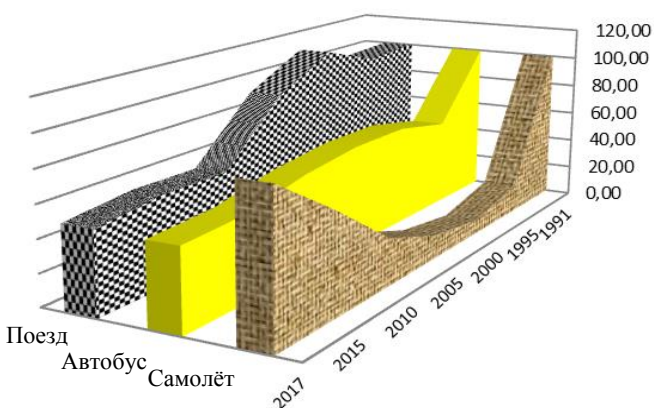


Рисунок 1 – Выполнение показателей пассажирских перевозок на различных видах транспорта в Беларуси

Как видно из приведенной диаграммы, наибольшее снижение пассажиропотока (свыше 50 %) приходится на железнодорожный и автомобильный транспорт, а наименьшее – на воздушный (9 %). Это связано с резким изменением геополитической ситуации в мире в XXI веке (обретение суверенитета республиками Беларусь, Литва и Латвия; вхождение Литвы, Латвии и Польши в Евросоюз и др.), а также неустойчивой тарифной политикой на транспорте и т. п. Следует отметить, что сегодня наблюдается тенденция дальнейшего уменьшения пассажирских перевозок из-за высокого уровня автомобилизации населения на территории стран СНГ. При этом в странах Европы за рассматриваемый период при возрастающем приобретении гражданами легковых автомобилей (20–25 %) произошло увеличение пассажиропотоков на всех видах транспорта до 30 %, особенно в региональном и городском сообщении.

По данным Всемирного банка, услугами одного вида транспорта пользуется: в международном сообщении – 12 %, межрегиональном – 26, региональном – 9, городском – 38 % населения страны. В связи с этим целесообразно рассмотреть распределения пассажиропотоков различных видов транспорта, при котором взаимодействие основано не на конкуренции, а на взаимном допол-

нении и использовании преимуществ каждого из них, что возможно благодаря созданию пассажирских хабов (пересадочных узлов).

Анализ результатов исследований ученых различных стран по данной проблематике позволил выделить основные направления исходя из географического районирования (таблица 1) [1–11].

Таблица 1 – Основные технологические особенности развития пассажирских перевозок за рубежом

Географический район расположения страны	Направление развития	Краткая характеристика
Западная Европа (Италия, Греция и др.)	Создание крупных пересадочных узлов (хабов)	Распределение и управление пассажиропотоками одновременно на различных видах транспорта
Восточная Европа (Польша, Чехия и др.)	Создание логистических пассажирских распределительных центров	
Юго-Восточная Азия (Япония, Сингапур и др.)	Создание разветвленной маршрутной сети (на городском общественном транспорте) в плотной городской застройке	

Современные исследования формирования логистики пассажирских перевозок показывают, что требуется разработка моделей их выполнения с учетом кластерного анализа пассажиропотоков на различных видах транспорта, который применяется для решения широкого спектра задач, но чаще всего для сегментирования рынка транспортных услуг, позволяющего идентифицировать устойчивые группы пассажиров и разработать карту-схему их передвижений в пределах города и за его границами. На основе карты-схемы может быть определена область пересечения пассажиропотоков и сформированы в этих точках распределительные центры или пересадочные узлы (хабы), создающие комфортные пересадочные зоны в местах пересечения маршрутов одного или нескольких видов транспорта и, помимо этого, оптимизировать пешеходные и транспортные потоки, сократить время пересадки.

Следует отметить, что первые пересадочные узлы появились в середине XIX в. в Лондоне на вокзале Кингс-Кросс в 1852 г., где железная дорога и городские линии были интегрированы в единый комплекс. В 1863 г. в Лондоне появилась первая в мире линия метрополитена, одной из станций которого стала Кингс-Кросс Сент-

Панкрасс. Вокзал соединили с «подземкой» пешеходным переходом, обеспечившим пассажирам удобную пересадку с одного вида транспорта на другой. Со временем железнодорожная и подземные станции метрополитена, управляемые разными операторами, стали рассматриваться как единый транспортный узел Великобритании с единым «пассажирским оператором» (рисунки 2).



Рисунок 2 – Первый в мире транспортно-пересадочный узел (станция метрополитена Кингс-Кросс Сент-Панкрасс, Лондон)

С 1889 г. начинается история пассажирского хаба – Центрального вокзала Амстердама (Нидерланды), связавшего изначально водный и железнодорожный транспорт. Заслуживает внимания транспортная система Нью-Йорка, в которой хаб является одним из ее центральных элементов, начиная с 30-х годов XX века, и объединяет восемь отдельных автобусных терминалов, расположенных по всему городу.

Как видно из вышеприведенного анализа, пассажирские хабы имеют более вековую историю своего формирования и развития и в настоящее время являются, можно сказать, крупными транспортными предприятиями по оказанию услуг населению. Сегодня пассажирские хабы объединяют: вокзалы различных видов транспорта, транспортную и «пешеходную» инфраструктуру, а также социально значимые объекты сферы услуг (торговые комплексы, рестораны, гостиницы, автостоянки и т. п.).

Одним из побудительных факторов развития пассажирских хабов в мире являются международная интеграция и глобализация, которые привели к интенсивному развитию международного туризма и, как следствие, появлению новых особенностей у современных хабов: пропуску большого количества транзитных пассажиров, а также высокому уровню концентрации пассажиропотока на маршрутах. При этом одним из условий комфорта нахождения на территории хаба является минимизация времени пересадки и ожидания времени отправления, а также обеспечение высокого уровня обслуживания пассажиров. В связи с этим практика интеграции вокзалов различных видов транспорта, размещенных на одной территориальной площадке, остается актуальной и продолжает совершенствоваться (см. рисунок 2).

На рисунке 3 показаны железнодорожный и автовокзалы, которые компактно соединены в единый транспортно-пассажирский комплекс. В зависимости от величины

пассажиропотока располагают вместе железнодорожный и автовокзал, реже – рядом с аэропортом и речным вокзалом (например, Берлин, Амстердам).

а)



б)



в)



Рисунок 3 – Транспортно-логистические хабы:  
а – туристический (морской и автомобильный транспорт);  
б – аэропорт, автобусный и железнодорожный;  
в – интеграция железнодорожного и автобусных вокзалов (Фьюмичино)

Из приведенного рисунка 3 видно, что на одной территориальной площадке находятся транспортно-логистические хабы: морской круизный порт, аэропорт, железнодорожный и автобусный вокзалы. Это позволит использовать единого оператора пассажирских перевозок и разрабатывать интегрированные расписания движения

транспортных средств в распределительном центре, что повышает качество обслуживания пассажиров. При этом для пассажиров, прибывающих в центр, который является конечным пунктом маршрута перевозки, разработана логистика городских перевозок для метрополитена, автобусов, троллейбусов и трамваев, которые работают под эгидой единого оператора хаба. Это позволяет интегрировать оперативную работу единого транспортно-логистического пассажирского центра.

Хабы целесообразно применять не только в туристической сфере, но и при выполнении международных и межрегиональных перевозок, где так же возможны регулярные перевозки и туризм. Для целей регулярного сообщения используются хабы, размещаемые в центре городов, которые включают объединённые вокзалы или пассажирские терминалы различных видов транспорта, размещаемые в территориальной близости на одной пло-



Рисунок 4 – Пассажирский транспортно-логистический хаб (Минск)

щади, как это сделано в Минске (рисунок 4) и областных центрах страны.

Создание хаба во многих странах явилось одним из факторов роста объема пассажирских перевозок (в Германии на 20, а в Токио – 36 % в год).

В большинстве крупных агломераций созданы транспортно-логистические хабы для пассажирских перевозок, что стало важным фактором роста их объема при снижении расходов на выполнение. Например, в Афинах (Греция) хаб находится в аэропорту, из которого можно проехать на морской вокзал Пирей на городской электричке или поездом метро, в г. Афины – на рейсовом автобусе, в другие города Греции – на поезде и автобусе, а городская электричка интегрирована с метрополитеном (используется один и тот же поезд для двух видов перевозки). В Риме с учётом большого количества пассажиров, использующих несколько видов транспорта на базе аэропорта Фьюмичино, создан пассажирский хаб, обеспечивающий доставку пассажиров из аэропорта: поездом метро на центральный вокзал, с которого отправляется ежедневно более 3600 поездов во все населенные пункты Италии; обе линии метро, связывающие все пересадочные пункты Рима; центральный автовокзал, с которого выполняется автобусное сообщение более 2320 ежедневных рейсов с насе-

ленными пунктами страны; морской терминал круизного флота Чиагтавекки.

При выполнении межрегиональных и региональных перевозок узловой вокзал (хаб) используется как пункт пересадки пассажиров в транспортные средства разных направлений движения и имеет высокий процент стыковочных рейсов (до 90 %). Он является элементом так называемой звездообразной (веерной) сети маршрутов, в которой пассажиры, перемещаясь между населенными пунктами страны, не связанными прямыми рейсами, могут достигнуть пункта назначения, совершив пересадку с одного рейса на другой с минимальной потерей времени и денежных средств. При выполнении государственных перевозок на пассажирский хаб возлагаются также задачи использования единого проездного документа на разные виды транспорта. При этом могут использоваться как один, так и несколько узловых вокзалов. Тогда в сети пассажирских маршрутов могут формироваться узловые пункты, не являющиеся пересадочными, но из которых совершается несколько рейсов в разных направлениях. Такие узловые пункты неофициально называют «вторичными хабами». Важным элементом организации пассажирского хаба для потребностей внутригосударственных пассажирских перевозок является стыковочное расписание движения транспортных средств по маршрутам различных видов транспорта.

В городском транспорте использование пассажирских хабов выполняется в крупных агломерациях, где пассажиров обслуживают два и более вида городского транспорта. Для этих целей строятся крупные пересадочные узлы. Как правило, центральным звеном выступает железнодорожный вокзал. К нему производится привязка маршрутной сети городского транспорта, который связывает в единую систему все виды городского транспорта. Наибольший опыт создания и развития пассажирских хабов можно отметить в крупнейших городах мира: Амстердаме, Пекине, Токио, Нагоя, Москве, Берлине, Париже. В Республике Беларусь примером создания крупного хаба можно назвать Минск, международного – Брест, в небольших городах – Жлобин, Бобруйск и областном центре – Гомель.

Модель, на основании которой определяется потребность создания логистического пассажирского хаба, формируется с учетом объема транспортных услуг и может быть интерпретирована в следующей постановке задачи. Пусть имеется некоторое множество (пассажиропоток)  $A_h(i, z)$ , обрабатываемое одним транспортным терминалом. Технология обслуживания пассажира или группы пассажиров  $a_k \in A_h(k, i, z)$  состоит из совокупности технологических операций, объединяемых множеством

$$A_h(i) = \bigcup_z A_h(i, z). \quad (1)$$

При поступлении группы пассажиров на терминал она обслуживается всеми его технологическими элементами. Однако необходимым условием по организации обслуживания на пассажирском терминале является равнозначная производительность всех его технологических элементов:

$$\alpha(k, i, z) = \alpha(k, i) = \alpha(i). \quad (2)$$

При этом учитывается ограничение по выполнимости требуемого набора пассажирских услуг по запросу пассажира на терминале:

– по нормативам затрат на пассажирские операции –

$$\sum_{p=1}^P \alpha(k, i, z)_p t(k, p) g(k, p; i, z) = W(i, z); \quad (3)$$

– по фонду времени загрузки пассажирского терминала вида транспорта, включённого в структуру хаба, –

$$\omega(k, 0) + \sum_{p=1}^P [t(k, p) + \omega(k, p)]_p = T(k) \leq T_{rm}, \quad (4)$$

где  $t(k, p)$  – длительность очереди обслуживания пассажиров на терминале;  $g(k, p; i, z)$  – целочисленные переменные  $k, p; i, z$ ;  $W(i, z)$  – нормативные затраты выполнения пассажиро-операции на терминале вида транспорта;  $\omega(k, 0), \omega(k, p)$  – длительность перерыва между обслуживаемыми пассажирами (нулевым и последующими);  $T(k), T_{rm}$  – фонд времени  $k$ -го элемента и терминала в целом.

В модели используется критерий оптимальности

$$K_{\text{опт}} = E_{\text{обс}} + E_{\text{ит}} + E_{\text{пас}}, \quad (5)$$

где  $E_{\text{обс}}$  – затраты на обслуживание пассажиров;  $E_{\text{ит}}$  – затраты на использование информационных технологий;  $E_{\text{пас}}$  – потери при оказании транспортных услуг пассажирам.

При этом

$$E_{\text{обс}} = \sum_{(k,p)} \sum_{(i,z)} e_{\text{обс}}(k, p; i, z) \alpha(k, p; i, z) t(k, p) g(k, p; i, z); \quad (6)$$

$$E_{\text{ит}} = \sum_{(k,p)} \sum_{(i,z)} \sum_{(j,v)} e_{\text{ит}}(k, p; i, z; j, v) g(k, p; i, z) g'(k, p+1; j, v); \quad (7)$$

$$E_{\text{пас}} = e_{\text{пас}} \sum_k \sum_{(i,z)} e_{\text{пт}}(i, z) \int_0^T Q(k, p, z; t) dt, \quad (8)$$

где  $e_{\text{обс}}(k, p; i, z)$  – единичные расходы на выполнение вокзальных услуг для пассажира;  $e_{\text{пт}}(i, z)$  – удельные потери пассажирского терминала при оказании транспортных услуг пассажирам.

В условиях массового спроса пассажирами на транспортные услуги главное внимание уделяется закреплению многооперационного распределения их выполнения между пассажирскими терминалами различных видов транспорта без учёта операторов.

Преобразуем ограничение (3) следующим образом:

$$\alpha(k, i, z) \sum_{(k,p)} t(k, p) g(k, p; i, z) = W(i). \quad (9)$$

При условии  $T(i) = W(i) / \alpha(k, i, z)$ , преобразование модели обоснования создания пассажирского хаба выполняется видоизменением системы логических целочисленных функциональных переменных. Принятый подход к организации хаба основан на условии, что существуют различные пассажиропотоки с качествами  $i$  и  $j$ . При этом устанавливаются требования к логическим переменным при выполнении условия для выделенного  $p$

$$g(k, p; i, z) = 1 \quad (10)$$

для всех  $k \in A(i, z); i \in \Phi(\varepsilon); z \in Z(i)$  вместо переменных  $g(k, p; i, z)$  для модели вводятся переменные  $\delta(\varepsilon, p)$ :

$$\delta(\varepsilon, p) = \begin{cases} 1, & \text{при условии, что имеется очередь} \\ & \text{обслуживания пассажиров по варианту } \Phi(\varepsilon); \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Вводится также  $g(p) = \sum_{\varepsilon} g(\varepsilon, p)$ , с учётом которого

определяются показатели длительности затрат времени на совместное обслуживание пассажиропотоков в узле при переходе их между транспортными подсистемами от варианта  $\Phi(\varepsilon)$  к варианту  $\Phi(\varepsilon')$ . Для выполнения оценочных расчетов вводятся множества

$$\varphi(\varepsilon, \varepsilon') = \Phi(\varepsilon) / \Phi(\varepsilon'); \quad (11)$$

$$\psi(\varepsilon, \varepsilon') = \Phi(\varepsilon') / \Phi(\varepsilon), \quad (12)$$

которые определяют последовательность обслуживания пассажиропотоков определенного вида транспорта, которые необходимо увязать с обслуживанием при переходе от варианта  $\Phi(\varepsilon)$  к варианту  $\Phi(\varepsilon')$ . При этом часть пассажиропотока (как правило, транзитного) продолжает непрерывно обслуживаться.

Множество видов транспортных услуг, оказываемых на пассажирском терминале, которые необходимо адаптировать на различные виды пассажиропотоков, обозначается через  $B(\varepsilon, \varepsilon')$ , которое объединяет элементы пассажирской инфраструктуры хаба. При выполнении условия

$$k \in A(i, z) \cap A(j), \quad (13)$$

когда  $i \in \varphi(\varepsilon, \varepsilon'), j \in \psi(\varepsilon, \varepsilon')$ , что показывает необходимость перехода к обслуживанию пассажиров по вариантам  $\Phi(\varepsilon)$  и  $\Phi(\varepsilon')$ .

В предлагаемой модели обоснования создания нового хаба длительность перехода на новый формат обслуживания пассажиров его технологическими элементами предполагает  $\tau(k; i, z; j, v) = \tau(k; i, j)$ , так как операции транспортного обслуживания пассажиров определяются однозначно элементами инфраструктуры хаба в зависимости от типа пассажиропотока. Часто имеется потребность одновременного выполнения многих вариантов транспортного обслуживания пассажиров по видам сообщений с интеграцией этих действий на различных видах транспорта при их непосредственном контакте. В этом случае длительность перехода по отмеченным вариантам определяется при минимальном значении

$$\tau(\varepsilon, \varepsilon') = \min \tau(k; i, j). \quad (14)$$

При этом минимальное значение выбирается по всем значениям  $k \in \Pi(\varepsilon, \varepsilon'); i \in \varphi(\varepsilon, \varepsilon'); j \in \psi(\varepsilon, \varepsilon')$ . В другом случае адаптация структурных элементов хаба может осуществляться последовательно. Тогда определение  $\tau(\varepsilon, \varepsilon')$  потребует предварительного суммирования некоторых значений  $\tau(k; i, j)$  и выбора среди этих сумм минимальной по параметру затрат времени пассажиром в пунктах пересадки с одного вида транспорта на другой.

Полезным для условий региональных населённых пунктов Республики Беларусь может быть практический опыт реализации модели на примере хаба «Синдзюку» в Токио. С момента открытия (1885 г.) это хаб с самым большим пассажиропотоком в мире (более 3,5 млн чел. в день). Существует более двухсот выходов со станции, в том числе через подземные торговые ряды. В транспортный комплекс интегрированы железнодорожный вокзал, две станции метро, автовокзалы для

межрегионального и регионального сообщений, около 20 автобусных остановок, два крупных подземных торговых центра и шесть универмагов (рисунок 5).



Рисунок 5 – Пассажирский хаб «Синдзюку»

Хаб расположен в плотной городской застройке. Он объединяет железнодорожный транспорт (городской, пригородный, междугородний и аэроэкспресс до аэропорта Нарита), метро, лёгкое метро, автобусные терминалы. Железнодорожной секцией хаба ежедневно пользуются около 1,5 млн пассажиров.

#### **Выводы:**

1 Пассажирские терминалы на различных видах транспорта являются частью логистической системы пассажирских перевозок в транспортной системе страны и функционируют под влиянием характерных системообразующих факторов, в зависимости от значений которых определяются условия формирования пассажирских хабов и эффективности их функционирования.

2 Пассажирские хабы и города взаимосвязаны и взаимозависимы. С одной стороны, они обеспечивают бесперебойное снабжение, что создает условия для развития экономики, а с другой – агломерации требуют решения логистических проблем.

3 С учетом целей, стоящих перед пассажирскими распределительными центрами – хабами, определяются их задачи, функциональная структура, бюджетирование,

учитывающие рост качества интегрированного обслуживания пассажиров в транспортных узлах.

#### **Список литературы**

1 **Bates, J. J.** Econometric issues in stated preference analysis / J. J. Bates // *Journal of Transport Economics and Policy*. – London, 1988. – No. 23 (1). – P. 59–69.

2 *Cost Benefit Analysis of Transport Infrastructure Projects*. Economic Commission for Europe. United Nations. – New York, 2015. – 469 p.

3 **Bertolini, L. L.** Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands / L. L. Bertolini // *Planning, Practice and Research*. – 1999. – No. 14. – P. 199–210.

4 **Chorus, P.** An application of the node-place model to explore the spatial development dynamics of station areas in Tokyo / P. Chorus // *The Journal of Transport and Land Use*. – 2011. – Vol. 4. – No. 1. – P. 45–48.

5 **Peek, G.** Gaining insight in development potential of station areas: A decade of Node-Place modelling in the Netherlands / G. Peek // *Planning, Practice and Research*. – 2006. – Vol. 21. – No. 4. – P. 443–462.

6 **Лебедева, О. А.** Современная модель организации мультимодальных межрегиональных пассажирских перевозок в условиях агломерации / О. А. Лебедева // *В мире научных открытий*. – № 6 (86). – 2015. – С. 21–216.

7 **Лебедева, О. А.** Обзор существующих характеристик маршрутной сети / О. А. Лебедева // *Современные технологии и научно-технический прогресс : тезисы докл.* – СПб., 2013. – С. 43.

8 Критерии оценки качества обслуживания городским пассажирским транспортом / И. М. Попова [и др.] // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. – 2015. – Т. 35. – С. 126–130.

9 **Голоскоков, Н. Н.** Инновационная логистика в реформировании и развитии сферы услуг пассажирского железнодорожного транспорта / Н. Н. Голоскоков // *Креативная экономика*. – 2006. – № 6 (6). – С. 75–82.

10 **Ерошкин, И. Н.** Управление городским пассажирским транспортом на основе логистической парадигмы / И. Н. Ерошкин [и др.] // *Инновационная деятельность*. – СПб. – 2013. – № 1 (23). – С. 92–97.

11 **Миротин, Л. Б.** Логистика: общественный пассажирский транспорт : [моногр.] / Л. Б. Миротин [и др.]. – М., 2003. – 224 с.

Получено 10.08.2018

**A. A. Mikhalchenka, T. A. Vlasuk.** Modeling the development of passenger hubs in the transport system of the Republic of Belarus.

The estimation of a retrospective of development of logistics of passenger transportations and influencing factors on change of their volumes is given. The paper presents a formalization of the construction of models for the development of passenger hubs using the basics of transport systems and processes. The main theoretical positions on the substantiation of the creation and operation of passenger hubs are given, taking into account modern requirements for the development of passenger flows of various technological orientations.