

УДК: 338.47

Развитие подходов к оценке эффективности функционирования пассажирских транспортно-пересадочных узлов

Е. М. Волкова¹, А. В. Гурьянов²

¹ Кафедра «Экономика транспорта». Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Россия, Санкт-Петербург

Для цитирования: Волкова Е. М., Гурьянов А. В. Развитие подходов к оценке эффективности функционирования пассажирских транспортно-пересадочных узлов // Бюллетень результатов научных исследований. — 2024. — Вып. 1. — С. 135–142. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-01-135-142

Аннотация

Цель: в статье предложен метод оценки эффективности работы пассажирских транспортно-пересадочных узлов, основанный на ключевых принципах управления операциями. **Методы:** для достижения цели исследования используются методы расчета коэффициентов, оценивающих соблюдение основных принципов управления операциями, методы статистического анализа и обработки данных, метод имитационного моделирования. Для выполнения исследования были использованы материалы научных трудов по выбранной теме, периодических изданий, а также интернет-ресурсов, в том числе открытых данных Комитета по транспорту г. Санкт-Петербурга. **Результаты:** основным научным результатом является разработанный автором метод оценки эффективности функционирования пассажирских транспортно-пересадочных узлов, основанный на ключевых принципах управления операциями. Предложенный метод учитывает специфику и характеристики пассажирских транспортно-пересадочных узлов и может использоваться на любой стадии их жизненного цикла, в том числе и на проектной. В отличие от имеющихся методов предложенная методика позволяет своевременно обнаружить и ликвидировать узкие места в планировочных решениях пассажирского транспортно-пересадочного узла. **Практическая значимость:** в результате апробации методики на примере проекта транспортно-пересадочного узла «Волковская» сформированы практические рекомендации по ликвидации узких мест и увеличению пропускной способности объекта. Авторские разработки могут найти применение в исполнительных органах государственной власти, ответственных за развитие городской транспортной инфраструктуры, и в проектных организациях в процессах планирования строительства и модернизации пассажирских транспортно-пересадочных узлов, а также при проведении оценки эффективности их работы.

Ключевые слова: городской транспорт, пассажирский транспорт, транспортная инфраструктура, пассажирские перевозки, транспортно-пересадочный узел, управление операциями, имитационное моделирование.

Введение

Эффективное управление городскими транспортными системами в современных условиях предполагает их функционирование с учетом концепции синхромодализма, предполагающей гибкость логистических цепочек и возможность быстрого изменения их конфигурации. Применительно к городскому пассажирскому транспорту это выражается в согласованном развитии различных видов общественного и личного транспорта, продуманной организации мультимодаль-

ных поездок, нацеленной на сокращение потерь времени. В структуре времени мультимодальной пассажирской поездки можно выделить следующие элементы: время на перемещение от/до остановочного пункта, время на поездку (по видам транспорта), время на ожидание транспорта, время на пересадку. Значительная часть затраченного пассажиром времени, таким образом, будет определяться потерями времени на ожидание и пересадку. Минимизация данных потерь возможна при условии согласованного расписания движения пассажирского транспорта и эффективной работы пассажирских транспортно-пересадочных узлов. Последний аспект определил постановку цели и задач данного исследования.

Вопросам оценки качества и эффективности эксплуатации транспортно-пересадочных узлов уделяется внимание во многих трудах отечественных и зарубежных исследователей. Содержание дефиниции «транспортно-пересадочный узел» раскрыто в работе В. А. Воронова [1]. Классификация ТПУ с участием железнодорожного транспорта, их эволюция и мировой опыт развития детально рассмотрены в работах С. П. Вакуленко [2]. Разнообразие функций транспортно-пересадочных узлов анализирует О. Д. Покровская [3]. Применение инструментария математического моделирования для оптимизации пассажирских потоков на территории ТПУ предложено в работе Yuting Zhu [4]. Подход к оценке качества работы транспортно-пересадочного узла предложен Т. Копыловой и др. Авторы отмечают, что качество работы ТПУ определяется в первую очередь временем пересадки, которое может варьировать в зависимости от ее вида. Н. Ю. Евреенова [5] также предлагает авторскую методику оценки качества работы транспортно-пересадочного узла, включая в перечень показателей для оценки не только затраты времени, но и пропускную способность, востребованность ТПУ у пассажиров, а также показатели разгрузки улично-дорожной сети вследствие работы транспортно-пересадочного узла.

Отметим, что имеющиеся методы оценки работы пассажирских транспортно-пересадочных узлов основываются на качестве транспортного обслуживания, предполагают проведение опросов пассажиров. Не умаляя значения данного аспекта, в данной работе мы предлагаем дополнить эти методы объективными характеристиками работы ТПУ, основанными на принципах управления операциями с использованием эмпирических данных. Кроме того, имеет смысл разработка методики оценки эффективности работы ТПУ, применимой не только на стадии его эксплуатации, но и на стадии проектной разработки. Таким образом, целью данного исследования является разработка метода оценки эффективности работы пассажирских транспортно-пересадочных узлов, основанного на ключевых принципах управления операциями.

Материалы и методы

Для получения результатов исследования были использованы теоретические основы управления операциями, с помощью которых были раскрыты шесть

ключевых принципов применительно к пассажирским транспортно-пересадочным узлам. Для оценки соблюдения выделенных принципов использовались методы статистического наблюдения и обработки статистической информации. Для определения прогнозных показателей по проектным характеристикам ТПУ «Волковская» были использованы методы и средства имитационного моделирования. Источниками информации для проведения исследования выступали научные труды, посвященные проблемам оценки эффективности работы ТПУ, а также проект ТПУ «Волковская», разработанный ООО «Архиди». Некоторые статистические данные были получены путем анализа информации по объектам-аналогам и по данным иных открытых источников.

Результаты

Методы оценки эффективности функционирования пассажирских транспортно-пересадочных узлов должны базироваться на разработанной методологической основе и учитывать особенности современного этапа развития данных объектов. К последним можно отнести в первую очередь расширение функционала пассажирских транспортно-пересадочных узлов, которое схематично представлено на рис. 1.

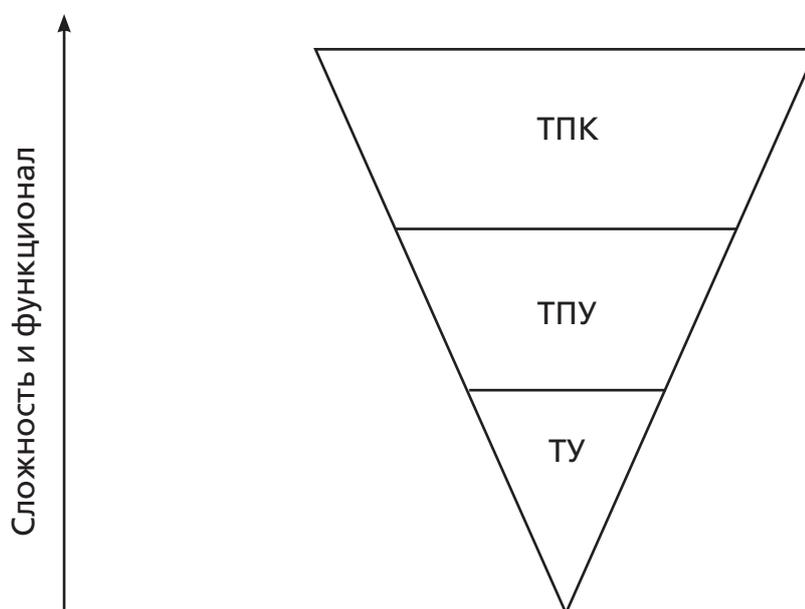


Рисунок 1. Расширение функциональной составляющей пассажирского транспортно-пересадочного узла (ТУ — транспортный узел, ТПУ — транспортно-пересадочный узел, ТПК — транспортно-пересадочный комплекс)

Источник: составлено автором

Как видно из рис. 1, ТПУ по мере расширения функций превращается в транспортно-пересадочный комплекс, на территории которого оказываются различные виды услуг, функционируют бытовые, торгово-развлекательные, сервисные, деловые структуры. С одной стороны, это делает проекты новых пассажирских транспортно-пересадочных узлов привлекательными для частных инвесторов. С другой стороны, избыточное развитие дополнительных сервисов на территории ТПУ приводит к затруднению навигации пассажиров и увеличению времени на пересадку. Существуют примеры того, как дополнительные функции снижают эффективность транспортно-пересадочных узлов. В частности, к ним можно отнести ТПУ «Планерная» в Москве, планировка которого предполагает переход пассажиров между остановочными пунктами через территорию торгового комплекса [6]. Следовательно, на современном этапе развития планировочные решения и грамотное зонирование территории ТПУ приобретают особую значимость для обеспечения его эффективной работы. Это необходимо учитывать при разработке методов оценки эффективности функционирования пассажирских ТПУ.

Предлагаемый автором метод основывается на ключевых принципах управления операциями. Каждый принцип последовательно раскрывается: сначала с точки зрения формулировки, затем с точки зрения оценки (разрабатывается соответствующий коэффициент). В компактном виде метод оценки эффективности функционирования пассажирского транспортно-пересадочного узла представлен в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Метод оценки эффективности функционирования пассажирского транспортно-пересадочного узла

Принцип	Формула для оценки соблюдения (коэффициент)	Пределы изменения коэффициента	Эталон коэффициента
1. Принцип рационального размещения функциональных зон на территории ТПУ	$K_1 = \frac{N_z}{N_f}$ <p>где N_z — количество выделенных зон; N_f — количество выполняемых функций.</p>	$0 < K_1 < 1$	1
2. Принцип баланса пропускной способности смежных участков ТПУ	$K_2 = \frac{P_1}{P_2 \cdot \gamma}$ <p>где P_1 — количество пассажиров, проходящих по территории участка 1 (чел./ч); P_2 — то же, участка 2 (чел./ч); γ — доля пассажиров, переходящих между смежными участками.</p>	$-\infty < K_2 < +\infty$	1

3. Принцип совмещения во времени операций по обслуживанию	$K_3 = \frac{T_{max}}{T}$ <p>где T_{max} — время обслуживания пассажира при отсутствии совмещения операций во времени, ч; T — среднее время обслуживания пассажира (фактическое с учетом совмещения операций), ч.</p>	$1 < K_3 < +\infty$	$K_3 \rightarrow +\infty$
4. Принцип сокращения потерь времени пассажира	$K_4 = \frac{T_s}{T_s + T_w}$ <p>де T_s — время на операции по обслуживанию пассажира; T_w — время ожидания пассажира (в очереди, в ожидании подачи транспортного средства).</p>	$0 < K_4 < 1$	1
5. Принцип передвижения пассажира по кратчайшему пути	$K_5 = \frac{T_{tr.min}}{T_{tr}}$ <p>где $T_{tr.min}$ — время движения пассажира по кратчайшему пути; T_{wait} — фактические затраты времени пассажира.</p>	$0 < K_5 < 1$	1
6. Принцип резервирования пропускной способности ТПУ	$K_6 = \frac{P_{max}}{P}$ <p>где P_{max} — максимальная мощность ТПУ, чел./ч; P — фактическая мощность ТПУ, чел./ч.</p>	$1 < K_6 < +\infty$	$K_6 \rightarrow +\infty$

Апробация предложенного метода проведена с использованием данных проекта транспортно-пересадочного узла «Волковская» (г. Санкт-Петербург), разработанного ООО «Архиди» при участии ИЭРТ. Для получения значений показателей, используемых в расчетах, применялись методы и средства имитационного моделирования. Результаты апробации показаны в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Результаты апробации

Принцип	Значение коэффициента	Соответствие значения эталонному
1. Принцип рационального размещения функциональных зон на территории ТПУ	0,80	соответствует
2. Принцип баланса пропускной способности смежных участков ТПУ	0,67	не соответствует
3. Принцип совмещения во времени функций ТПУ	1,56	соответствует
4. Принцип сокращения потерь времени пассажира	0,75	соответствует
5. Принцип передвижения пассажира по кратчайшему пути	0,75	соответствует
6. Принцип резервирования пропускной способности ТПУ	0,82	соответствует

Как видно из табл. 2, значение коэффициента K_2 не соответствует эталону, что свидетельствует о несоблюдении принципа баланса пропускной способности смежных участков ТПУ. Более детальный анализ планировки транспортно-пересадочного узла позволит выявить на его территории потенциальное узкое место — участок, ограничивающий пропускную способность. Это небольшой проход между зонами ТПУ, расширение которого сможет решить выявленную проблему и сбалансировать пропускную способность смежных зон. Таким образом, рекомендуется доработка данного проекта в части ликвидации потенциального узкого места.

Обсуждение результатов и выводы

Предложенный метод оценки эффективности функционирования пассажирского транспортно-пересадочного узла характеризуется рядом ограничений. Так, он может быть доработан для ТПУ различных видов (плоскостные, многоуровневые, с наличием перехватывающих парковок и др.), обладающих особенностями, существенными для оценки. Кроме того, зачастую эффективность и востребованность ТПУ определяется в большей степени внешними факторами, чем внутренней организацией и планировкой, поэтому в перспективе следовало бы дополнить методику оценкой расположения ТПУ, его встраивания в окружающую территорию. Однако при имеющихся недостатках методика может служить отправной точкой для оценки эффективности пассажирских ТПУ на стадии проекта, что смогло бы предотвратить появление узких мест на стадии их эксплуатации. При этом полученные результаты во многом будут определяться достоверностью исходных данных и грамотным выбором метода имитационного моделирования.

Предложенный метод может найти практическое применение в исполнительных органах государственной власти, ответственных за развитие городской транспортной инфраструктуры, и в проектных организациях в процессах планирования строительства и модернизации пассажирских транспортно-пересадочных узлов, а также при проведении оценки эффективности их работы.

Библиографический список

1. Воронов В. А. Транспортно-пересадочные узлы и интермодальные комплексы. Термины и определения / В. А. Воронов, К. Ю. Чистяков // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. № 3 (52). С. 252–264.
2. Вакуленко С. П., Евреенова Н. Ю. Техническое оснащение и технология работы транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта. М.: МИИТ, 2015. 195 с.

3. Pokrovskaya O., Kurenkov P., Goncharenko S., et al. Evolutionary and functional development of transport nodes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference “Transport of Siberia 2020”. 2020. P. 012033.

4. Zhu Y., Hu C., Xu D., et al. Research on Optimization for Passenger Streamline of Hubs // Procedia. Social and Behavioral Sciences. 2014. 138. P. 776–782.

5. Евреенова Н. Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук, специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок». М.: МИИТ, 2014. 22 с.

6. Волкова Е. М., Кононов Д. П. Оценка эффективности функционирования пассажирских транспортных хабов / Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. Сб. трудов LXXXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. СПб.: ПГУПС, 2023. С. 114–118.

Дата поступления: 23.12.2023

Решение о публикации: 01.03.2024

Контактная информация

ВОЛКОВА Елена Михайловна — канд. экон. наук, доцент, Moonlight34@ya.ru

ГУРЬЯНОВ Андрей Владимирович — докт. экон. наук, доцент, e-mail: siluckova@yandex.ru

Development of approaches for the assessment of passenger transport hubs efficiency

E. M. Volkova¹, A. V. Guryanov²

¹ Department of Transport Economics. Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

For citation: *Volkova E. M., Guryanov A. V.* Development of approaches for the assessment of passenger transport hubs efficiency // Bulletin of scientific research results, 2024, iss. 1, pp. 135–142. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-01-135-142

Abstract

Objective: the article proposes a method for assessing the efficiency of passenger transport hubs, based on the key principles of operation management. **Methods:** to achieve the goal of the study, methods of calculating coefficients evaluating compliance with the basic principles of operations management, methods of statistical analysis and data processing, and the method of simulation are used. To carry out the research, materials from scientific papers on the chosen topic, periodicals, as well as Internet resources, including open data from the St. Petersburg Transport Committee, were used. **Results:** the main scientific result is a method developed by the author to evaluate the efficiency of passenger transport hubs, based on the key principles of operations management. The proposed method takes into account the specifics and characteristics of passenger transport hubs and can be used at any stage of their life cycle, including at the design stage. Unlike the available methods, the proposed methodology allows timely detection and elimination of “bottlenecks” in the planning solutions of a passenger transport hub. **Practical significance:** as a result of testing the methodology on the example of the Volkovskaya transport interchange hub project, practical recommendations were formed to eliminate bottlenecks and increase the capacity of the facility. The

author's developments can be used in the executive bodies of state power responsible for the development of urban transport infrastructure, and in design organizations in the planning processes for the construction and modernization of passenger transport hubs, as well as in evaluating the effectiveness of their work.

Keywords: urban transport, passenger transport, transport infrastructure, passenger transportation, transport hub, operations management, simulation modelling.

References

1. Voronov V. A. Transportno-peresadochnye uzly i intermodal'nye komplekсы. Terminy i opredelenija / V. A. Voronov, K. Ju. Chistjakov // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. № 3 (52). S. 252–264. (In Russian)
2. Vakulenko S. P., Evreenova N. Ju. Tehnicheskoe osnashhenie i tehnologija raboty transportno-peresadochnyh uzlov, formiruemyh s uchastiem zheleznodorozhnogo transporta. M.: MIIT, 2015. 195 s. (In Russian)
3. Pokrovskaya O., Kurenkov P., Goncharenko S., et al. Evolutionary and functional development of transport nodes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. VIII International Scientific Conference “Transport of Siberia 2020”. 2020. P. 012033.
4. Zhu Y., Hu C., Xu D., et al. Research on Optimization for Passenger Streamline of Hubs // *Procedia. Social and Behavioral Sciences*. 2014. 138. P. 776–782.
5. Evreenova N. Ju. Vybor parametrov transportno-peresadochnyh uzlov, formiruemyh s uchastiem zheleznodorozhnogo transporta: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk, special'nost' 05.22.08 «Upravlenie processami perevozok». M.: MIIT, 2014. 22 s. (In Russian)
6. Volkova E. M., Kononov D. P. Ocenka jeffektivnosti funkcionirovanija passazhirskih transportnyh habov / *Transport: problemy, idei, perspektivy*. Sb. trudov LXXXIII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh: v 2 t. SPb.: PGUPS, 2023. S. 114–118. (In Russian)

Received: 23.12.2023

Accepted: 01.03.2024

Author's information

Elena M. VOLKOVA — PhD in Economy, Moonlight34@ya.ru

Andrey V. GURYANOV — Dr. Sci. in Economy, siluckova@yandex.ru