вое управление, максимальная автоматизация), что ставит перед разработчиками сложные, но осуществимые задачи. Барьеры на пути внедрения – технологические (импортозамещение, кибербезопасность), институциональные (нормативная база, кадры) и экономические (инвестиции) – осознаются и постепенно устраняются через госстратегии, программы инноваций и новые организационные решения. Перспективы до 2040 года: Россия планирует создать обширную сеть ВСМ с интеллектуальной системой управления, не уступающей мировым аналогам и даже превосходящей их по уровню автоматизации. Реализация этих планов будет зависеть от последовательности действий государства, науки и бизнеса. Но уже сейчас очевидно, что высокоскоростной железнодорожный транспорт в РФ станет драйвером развития отечественных цифровых и управленческих технологий, обеспечив быстрые, безопасные и эффективные перевозки в XXI веке.

Список литературы

1 **Никитин, А. Б.** Управление движением поездов на высокоскоростных магистралях: общесистемные требования / А. Б. Никитин // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 3 (68). – С. 52–57.

2 Современные системы управления движением поездов и обеспечения безопасности движения / Е. Н. Розенберг, Е. Е. Шухина, А. В. Озеров [и др.]. – М. : Издательские решения, 2020. – 210 с.

3 **Полукарова, Е. В.** Ведение данных о МВПС в системе АСОУП-3 / Е. В. Полукарова, Е. В. Корнеева // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 4. – С. 31–34.

4 **Зелова, М. И.** О применении комплекса автоматизированного управления движением поездов в условиях высокой интенсивности движения / М. И. Зелова, А. В. Комаров // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 4 (76). – С. 118–128.

5 О внесении изменений в Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» и статьи 2 и 81 Федерального закона «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» : Федеральный закон от 30 ноября 2024 года № 448-ФЗ : принят Государственной думой Российской Федерации 19 нояб. 2024 г. // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 10.09.25).

6 О железнодорожном транспорте в Российской Федерации : Федеральный закон от 10 янв. 2003 года № 17-ФЗ : принят Государственной думой Российской Федерации 24 дек. 2002 г. (с изм. на 26 дек. 2024 г.) // КонсультантПлюс. Россия : справ. правовая система (дата обращения: 10.09.25).

7 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России от 23 июня 2022 года № 250 : введ. в действие с 1 авг. 2022 г.

8 СТО РЖД 14.004-2025. Инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта. Технические нормы и требования к проектированию и строительству : утв. и введ. в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 04 апреля 2025 №747/р.

УДК 656.2.022.3

ЭПИЗОДИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ КАК ФАКТОР НЕУСТОЙЧИВОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В АГЛОМЕРАЦИИ

Т. А. ВЛАСЮК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Эпизодическая миграция представляет собой совокупность нерегулярных поездок, совершаемых населением в деловых, рекреационных, культурных, религиозных и иных целях. В отличие от маятниковых трудовых перемещений, эти поездки не имеют выраженной устойчивой периодичности, что накладывает особые требования, исходя из их специфики, на организацию пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (таблица 1).

Анализ таблицы 1 показал, что эпизодическая миграция является двойственным явлением: с одной стороны, она осложняет управление пассажиропотоком из-за своей нерегулярности и «пульсаций», а с другой – выступает «приводным механизмом» адаптивности железнодорожного транспорта, вынуждая его развиваться в сторону большей гибкости, мультимодальности и устойчивости к резким колебаниям спроса, что повышает ее системный эффект.

Таким образом, эпизодическая миграция, несмотря на её нерегулярность, в совокупности играет важную роль:

– повышает общую нагрузку на железнодорожную сеть и стимулирует рост транспортного предложения;

– формирует новые маршруты и сервисные сегменты, которые в дальнейшем могут закрепляться и переходить в регулярный режим;

– усиливает энтропию пассажиропотока, создавая условия для бифуркаций транспортной системы, когда малые внешние факторы (например, объявление религиозного праздника или открытие рекреационного объекта) могут вызвать резкий рост пассажиропотока на конкретном направлении.

Таблица 1 – **Отличительные особенности эпизодической миграции**

Классификационный признак	Краткая характеристика
Социально-демографический	Гетерогенность как высокая вариативность платежеспособного спроса, уровня требований к комфорту и к сервисному наполнению поездки (преобладание в деловых и профессиональных поездках трудоспособного населения среднего возраста; в рекреационных и паломнических – более широких групп населения, включая подростков, студентов, пожилых людей, женщин с детьми)
Темпоральная неравномерность	Усиление сезонных и суточных колебаний регионального пассажиропотока, что создаёт пики нагрузки, резко отличающиеся от средней интенсивности: 1) по часам суток (концентрация на утренних и вечерних отправлениях в случае деловых визитов); 2) дням недели (увеличение спроса на выходные и праздничные дни (поездки к родственникам, паломничества, экскурсии)); 3) сезонам (летние отпуска, каникулярные периоды, религиозные праздники)
Культурно-религиозный	Паломничество (посещение мемориальных мест православных, католических и униатских святынь), что требует значительных резервов подвижного состава, так как формируются разовые мощные пассажиропотоки
Инфраструктурные и управленческие меры	Для освоения возрастающего пассажиропотока применяются следующие меры: 1) назначение дополнительных поездов (сезонные и разовые рейсы, чартерные составы для организованных групп); 2) увеличение длины поездов и количества вагонов в часы и сезоны пиковой нагрузки; 3) гибкое расписание, учитывающее праздничные и каникулярные периоды; 4) развитие мультимодальных решений (увязка железнодорожных перевозок с автобусными трансферами и шеринговым транспортом в местах назначения)

Рассмотрим эпизодическую миграцию как возмущение к устойчивому маятниковому пассажиропотоку. Пусть общий пассажиропоток в агломерации во времени t задается как:

$$P(t) = Pm(t) + \Delta Pe(t), \tag{1}$$

где $Pm(t)$ – маятниковый (регулярный, трудовой) пассажиропоток, обладающий устойчивой периодичностью; $\Delta Pe(t)$ – эпизодическая составляющая, отражающая возмущения системы.

Тогда маятниковые (регулярные, трудовые) поездки можно определить по формуле:

$$P_{tr}(t) = A_{tr}\sin^2\left(\frac{\pi t}{T_d}\right) g_{\omega}(t), \tag{2}$$

где A_{tr} – амплитуда маятниковых потоков (максимум пассажиров в будничный день); T_d – суточный цикл (24 ч); $g_{\omega}(t)$ – недельный модуль (близок к 1 в будничные дни и к 0 – в выходные дни).

Эпизодическая миграция может быть представлена как

$$\Delta Pe(t) = \sum_{i=1}^{N} A_i f_i(t), \tag{3}$$

где A_i – амплитуда эпизодического события (численность пассажиропотока, тыс. чел.); $f_i(t)$ – функция времени определенных событий (дельта-функция для одномоментных праздников, гауссово распределение каникул, ступенчатая функция для отпускного режима); N – количество значимых эпизодических факторов (паломничества, каникулы, культурно-массовые мероприятия).

Например, дельта-функция для паломничества в конкретный день может быть определена по формуле $f_i(t) = \delta(t - t_0)$. При этом пассажиропоток возрастает на A_i.

Для летнего отпускного сезона – $f_i(t) = \exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{2\sigma^2}\right)$. При этом пассажиропоток плавно увеличивается, достигает максимума и постепенно снижается.

Для школьных каникул используем разность Хевисайда $f_i(t) = H(t - t_1) - H(t - t_2)$. При этом отмечается резкий рост в начале периода и резкий спад в конце.

Сезонные поездки

$$P_{se}(t) = \sum_{j=1}^{M} A_{sej}\left[H(t - t_{1j}) - H(t - t_{2j})\right], \tag{4}$$

где A_{sej} – средняя интенсивность сезонного пассажиропотока, тыс. чел); H – функция Хевисайда (ступенчатое включение/выключение); t_{1j}, t_{2j} – начало и конец сезона (например, летнего).

Таким образом, общий пассажиропоток определяется по формуле

$$\begin{aligned} P(t) = A_{tr}\sin^2\left(\frac{\pi t}{T_d}\right) g_\omega(t) + \sum_{i=1}^{N_{pt}} A_{pl,i}\delta(t - t_i) + A_{tu}\exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{2\sigma_{tu}^2}\right) + \\ + \sum_{j=1}^{M} A_{se,j}\left[H(t - t_{1j}) - H(t - t_{2j})\right]. \end{aligned} \tag{5}$$

Формула (5) позволяет разложить любой пассажиропоток агломерации на устойчивое «ядро» маятниковых поездок и эпизодические изменения различного масштаба (таблица 2).

Таблица 2 – **Структура общего пассажиропотока агломерации**

Тип поездок	Формула расчета	Маршруты следования в агломерации	Краткая характеристика
Маятниковые (трудовые)	$P_{tr}(t) = A_{tr}\sin^2\left(\frac{\pi t}{T_d}\right) g_\omega(t)$	Минск ↔Жодино/Борисов, Смолевичи; Брест ↔ Жабинка; Гродно ↔ Скидель; Гомель ↔Добруш	T_d = 24 ч; $g_\omega(t) \approx$ 1 множитель (будние / выходные дни); 0,2–0,4 – в субботу; 0,1 – воскресенье; A_{tr} – пиковый будничный пассажиропоток
Эпизодические пики (паломничество)	$P_{pl}(t) = \sum_{i=1}^{N_{pt}} A_{pl,i}\delta(t - t_i)$	Минск/Вилейка ↔ Будслав (Будславский фэст); Минск/Гродно ↔ Жировичи; Мозырь ↔ Туров	$A_{pl,i}$ – число паломников по билету (реестр мероприятий епархий); $\delta(t - t_i)$ – дельта-функция для дня событий
Туристические	$P_{tu}(t) = A_{tu}\exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{2\sigma_{tu}^2}\right)$	Минск ↔ Нарочь; Минск/Полоцк ↔ Браславские озера; Брест/Каменец ↔ Беловежская пуща; Гродно ↔ Августовский канал	t_0 – туристический пик (фестивали); σ_{tu} – длительность волны
Сезонные	$P_{se}(t) = \sum_{j=1}^{M} A_{sej}\left[H(t - t_{1j}) - H(t - t_{2j})\right]$	Минск ↔ дачные направления (Заславль, Молодечно, Пуховичи), пригород	Ступенчатое повышение спроса (май – август); A_{sej} – дополнительный пассажиропоток на период сезона
Служебно-деловые (нерегулярные)	$P_{biz}(t) = A_{biz}\exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{2\sigma_{tu}^2}\right) g_\omega(t)$	Командировки, ярмарки вакансий, выставки Минск ↔ Гомель/ Брест/Гродно	Будние дни σ_m = 1…2 дня

Суммарный пассажиропоток агломерации

$$P(t) = P_{tr}(t) + P_{pl}(t) + P_{tu}(t) + P_{se}(t) + P_{e\vartheta}(t) + P_{biz}(t). \quad (6)$$

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1) маятниковые поездки формируют устойчивый «скелет» агломерационного пассажиропотока, отражающий трудовые связи «ядро – спутник»;

2) паломничество и ивенты дают импульсные пики, которые требуют точечного усиления графика движения поездов;

3) туризм и сезонность обеспечивают волновое повышение нагрузки, особенно летом и в праздничные периоды;

4) совокупный поток $P(t)$ не линеен, с чередованием регулярных и эпизодических максимумов;

5) функция выбора $\Pi(t)$ позволяет оценить зону тяготения железнодорожного транспорта как аттрактора, а при изменении частоты рейсов, тарифов и времени в пути можно прогнозировать перераспределение спроса.

Разработанная модель обеспечивает инструмент для сравнительного анализа агломераций (например, Минская ↔ карликовые агломерации, Брест – Жабинка, Гродно – Скидель, Гомель – Добруш), позволяя численно выразить эффект трансформации станции в компьютерно-ориентированный узел.

Таким образом, энтропия системы (как показатель её неустойчивости) в периоды эпизодической миграции возрастает за счет дополнительных $\Delta Pe(t)$. Это вызывает бифуркации (например, перегрузку линий или необходимость назначения дополнительных рейсов).

Список литературы

1 **Малышев, Ю. В**. Обобщение метода Хевисайда / Ю. В. Малышев // Известия РАЕН. Дифференц. уравнения. – 2005. – № 9. – С. 59–61.

2 **Бондаренко, А. В.** Оператор О. Хевисайда и временные процессы в технических системах / А. В. Бондаренко, В. И. Можар // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2000. – № 5. – С. 34–48.

3 Многомерный оператор О. Хевисайда и синтез электрических цепей / А. В. Бондаренко, В. В. Бондаренко, В. И. Можар, К. А. Малыгин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2008. – № 3. – С. 5–13.

4 **Березовская, И. П.** Транспорт как социально-культурное явление / И. П. Березовская, М. В. Иванов / Научно-технические ведомости СПбГПУ. Гуманитарные и общественные науки. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 47–55.

5 **Ильинская, Е. А.** Темпорально-глокализационные процессы в современной культуре / Е. А. Ильинская, Г. М. Бирженюк, Т. В. Ефимова // Общество. Среда. Развитие. – 2016. – № 4. – С. 56–59.

УДК 656.1/.2.078.2

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ «1-МИНУТНЫЙ ГОРОД» ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Т. А. ВЛАСЮК, Л. А. ГОНЧАРОВА, А. Н. БЕЛОУС
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЦЗЭН СЯНЬФЭН
Гуанчжоуский профессионально-технический колледж железнодорожного транспорта, Китайская Народная Республика

Современные мегаполисы сталкиваются с растущими вызовами в сфере транспортной организации. Увеличение количества автомобилей, перегруженность улично-дорожной сети, экологические проблемы и социальная фрагментация требуют новых подходов к управлению городской мобильностью. Одной из инновационных идей в этой области является концепция «1-минутного города» (one-minute city), представляющая собой развитие модели «15-минутного города», предложенной Карлосом Морено. В отличие от последней, где акцент делается на доступности базовых