

УДК 656.224:519.711

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

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ АТТРАКТОРА КАК ЗОНЫ ОТНОСИТЕЛЬНО УСТОЙЧИВОГО СОСТОЯНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Понятие «аттрактор» (от англ. *attract* – привлекать, притягивать) в настоящее время имеет широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека, в том числе и на железнодорожном транспорте как основа для формирования относительно устойчивого состояния пассажиропотока. При этом следует иметь в виду, что аттракции способствуют совершенствованию взаимодействия различных видов транспорта по обслуживанию населения в агломерации, которое должно осуществляться на основе всестороннего исследования схем пассажиропотоков, плана перспективной застройки городов и т. д. Поиск и нахождение новых аттракторов позволит обеспечить развитие пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте и увеличить его пассажиропоток.

В зависимости от предпочтений, отдаваемых пассажирами при выборе вида транспорта возможны различные варианты в интервале от бифуркации до следующей бифуркации, когда пассажиропоток возвращается в исходное или близкое к нему состояние. При этом точкой бифуркации может выступать центр зарождения или погашения пассажиропотока, например, вокзал (железнодорожный, автовокзал, пункт пересадки и т. п.), где появляются новые варианты для выбора, (отличающиеся от других относительной устойчивостью и более реальными) и который далее, после точки бифуркации, именуется как аттрактор. Например, если выбор пассажира приходится на вид транспорта, соответствующий его требованиям относительно скорости и продолжительности поездки, то можно сказать, что он находится в области аттрактора, где будет наблюдаться эффект формирования относительно устойчивого состояния пассажиропотока (рисунок 1) [2].

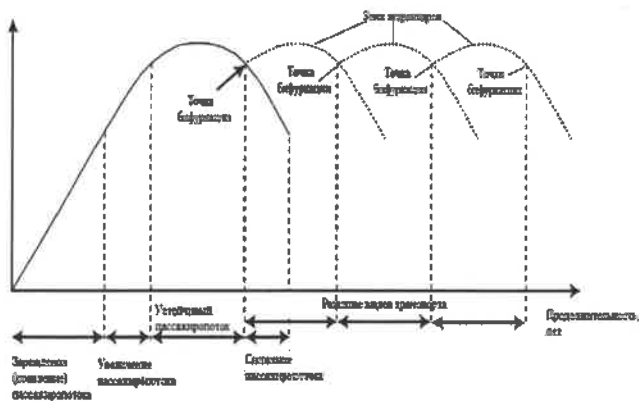


Рисунок 1 – Взаимосвязь зоны аттракторов

Таким образом, аттрактор – это относительно устойчивое состояние пассажиропотока, являющееся основой для развития множества направлений после точки бифуркации [2, 5]. На этом этапе возможно достаточно точное прогнозирование направления дальнейшего выбора пассажиром вида транспорта. Особо следует выделить путь развития, при котором бифуркация под действием какого-либо, даже незначительного события, «скачком» переводит пассажиропоток в новое, заранее непредсказуемое, качественное состояние, имеющее иногда полное видоизменение, например, при появлении новых видов транспорта (рисунок 2).

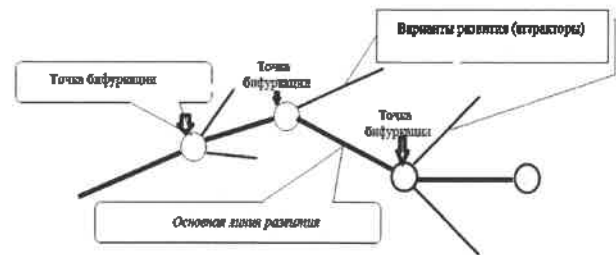


Рисунок 2 – Схема бифуркации и последующего развития аттракторов

Как видно из рисунка 2, аттракторы различной природы и порядка могут возникать последовательно, имея большую или меньшую значимость при формировании пассажиропотока. При этом важна не последовательность возникновения аттракторов, а их последовательно формирующаяся устойчивая связь и закономерность переноса определяющей информационной функции от одних аттракторов к другим. Так, возвращение пассажиропотока в область устойчивого состояния (аттрактора) происходит в результате сочетания управляющих параметров (преднамеренных и необходимых, например, достаточного количества свободных мест в региональных поездах) и случайных событий, таких как рост миграции населения, что приводит к усложнению структуры пассажиропотока, увеличению его численности, т. е. появлению новых свойств. Поэтому для ситуации, при которой требуется повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта, аттракторами могут выступать различные типы структур, имеющих «симметричную», правильную форму, такие как расписание движения поездов, тип подвижного состава и др. При этом необходимо учитывать, что аттракторы в традиционном понимании, обладают особенностью возвращаться в первоначальное состояние через некоторое время, что определяется как их асимптотическая устойчивость [1–5, 8].

Случайное событие вызывает неустойчивость, которая служит толчком для возникновения новых конфигураций. Так, при изменении управляющих параметров в пассажиропотоке могут наблюдаться разнообразные переходные явления. Вблизи равновесия стационарное состояние асимптотически устойчиво, поэтому в силу непрерывности эта динамика распространяется до критической области, и при достижении критического значения процесс может стать неустойчивым. Поэтому даже небольшое изменение переводит систему в новое

устойчивое состояние, которое может быть упорядоченным, и процесс может быть построен по схеме, приведенной на рисунке 3.

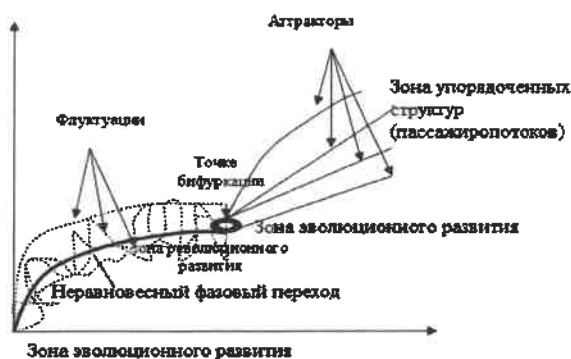


Рисунок 3 – Формирование зон развития флуктуации и бифуркации

Любой пассажиропоток, претерпевший бифуркацию, следует рассматривать, как одно из вероятностных представлений, так и классического лапласовского детерминизма (линейного и однозначного), так как находясь между двумя точками бифуркации (см. рисунок 3), пассажиропоток закономерно следует на определенный вид транспорта, тогда как вблизи точек бифуркации значимыми становятся флуктуации, которые и определяют, какой из вариантов выберет пассажир. Зоны развития флуктуации и бифуркации, представленные на рисунке 3, приводят к значительным изменениям значений различных параметров в разные периоды времени [3–7]. Тогда вокзал или остановочный пункт может быть представлен как специально выделенная точка, которая согласно математическому моделированию элементов сложных систем является зоной тяготения пассажиропотока.

Определим стационарные точки (аттракторы) через систему уравнений:

$$\begin{cases} r_1, Ж \left(1 - \frac{Ж}{n_1}\right) = 0; \\ r_2, A \left(1 - \frac{A}{n_2 + a_{21}Ж}\right) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где $Ж$ и A – пассажиропоток на железнодорожном и автомобильном транспорте; r_1, r_2 – коэффициенты увеличения пассажиропотока на железнодорожном и автомобильном транспорте в зависимости от спроса на пассажирские перевозки; n_1, n_2 – пропускная способность железнодорожного и автомобильного транспорта; a_{21} – коэффициент взаимодействия видов транспорта между собой, который показывает, насколько уменьшается плотность сети при увеличении плотности первого вида на единицу. При $n_1 / n_2 > a_{21}$ существует единственное устойчивое стационарное состояние [2].

Аттракторы в данном примере являются стационарными точками равновесия и могут быть определены из условия

$$\frac{dЖ}{dt} = \frac{dA}{dt} = 0. \quad (2)$$

Тогда система уравнений (1) имеет четыре пары корней:

$$\begin{aligned} Ж^{(1)} = 0; A^{(1)} = 0; Ж^{(2)} = 0; A^{(2)} = n_2; Ж^{(3)} = n_1; A^{(3)} = 0; \\ Ж^{(4)} = n_1; A^{(4)} = n_2 + a_{21} n_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Если аттракторы устойчивы, то величины $Ж$ и A будут стремиться к ним, и наоборот, если не устойчивы, то $Ж$ и A будут удаляться от них и выбор того или иного вида транспорта может быть основан на определении вероятности информации по Шеннону. Это позволяет рассчитать среднее количество информации, которое реализуется в каждом выборе из двух альтернатив ($Z = 2$), т. е. из имеющихся возможностей отбираются и реализуются лишь те варианты, которые удовлетворяют критериям целенаправленного выбора, являющегося по своей сути «фильтром», и который из множества возможных вариантов, «пропускает» только имеющие соответствие требованиям. Однако он не является конечным этапом и итогом перехода пассажиропотока через точки бифуркации [2, 5].

Следовательно, выбор формирует и из них допускает множество различных вариантов, но какой из них будет осуществляться, зависит от тех случайных флуктуаций в момент, когда пороговое состояние достигнет критического значения (см. рисунок 3). Данный тезис подтверждается основными концепциями самоорганизации профессора Г. Хакена, который отметил, что «в зависимости от флуктуации, внутри самой системы последняя может переходить в одну из двух устойчивых точек (в один из двух аттракторов). В этом случае входящий сигнал содержит информацию в обычном смысле слова, который неоднозначен, и эта неоднозначность снимается флуктуацией системы. Если говорить не строго, то можно сказать, что исходная информация удваивается, так как после получения сигнала система может перейти в любой из двух аттракторов» [9].

Флуктуации, т. е. колебания пассажиропотока, которые готовят его к «раздвоению» могут быть по отношению к нему нейтральными или, наоборот, способствовать ускоренному выбору и т. д. (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика типов флуктуации

Тип флуктуации	Направление проявления	Краткая характеристика
Скрытая	Нейтральное	Взаимно уравновешенное состояние
Очаговая	Появление «очагов» неоднородности	Закрепление измененного состояния «внутри» пассажиропотока

Необходимо также отметить, что флуктуация может быть «спусковым крючком», когда в пассажиропотоке, достигшем высокой степени нестабильности, мгновенно инициируется возникшее изменение [2, 3].

Количественные характеристики флуктуации основаны на методах математической статистики и теории вероятностей. Простейшей мерой ее случайной величины служит дисперсия. Эквивалентной мерой флуктуации является среднеквадратичное отклонение, равное корню квадратному из дисперсии, или его относительная величина [3].

Представленный анализ позволяет исследовать структуру регионального пассажиропотока, что в дальнейшем может определять выбор железнодорожного транспорта, который меняется по определенным интервалам времени с различной интенсивностью. Помимо этого, приведенный анализ особенно важен для железнодорожных региональных перевозок, которые продолжаются в пределах города, где железнодорожный транспорт является его городским видом. В связи с этим, учет потребностей основных сегментов пассажиропотока в удобное время отправления и прибытия региональных (пригородных) поездов по начальным и конечным станциям, в рабочие, выходные и праздничные дни должен производиться при прокладке ниток графика движения поездов. Это обеспечивает адресность назначаемых поездов и их заполняемость при прочих равных условиях эксплуатации. Неучет целей поездки, режима работы (учебы) и других побудительных факторов в значимых сегментах ведет к неостребованности проложенных ниток графика движения поездов, неоправданному ожиданию их отправления пассажирами и переходу части из них на автомобильный транспорт. Однако вышеприведенные факторы могут быть антагонистически связаны, например, для пассажиров более комфортной является поездка при минимальном их количестве в вагоне, а для железной дороги с экономической точки зрения – наоборот. Следовательно, после коротких периодов псевдоустойчивости пассажиропоток под воздействием указанных факторов может опять возвращаться в бифуркационные отрезки повышенной неустойчивости с эффектом «выбора пути» и повышенной чувствительностью к малым, точечным воздействиям. При этом наиболее эффективными оказываются те воздействия, которые приближают пассажиропоток к его будущему устойчивому состоянию. Бифуркационный процесс заканчивается, когда заканчиваются попытки ввода пассажиропотока в неустойчивое состояние.

Таким образом, на краткосрочном выборе каждого пассажира основано равновесие транспортных предпочтений, недостаточно изученных в современных условиях и в которых приоритет отдается автомобильному транспорту, что приводит к возникновению множества социальных и экологических издержек. Например, рост числа автостоянок и, как следствие, отчуждение земель приводит к территориальному «расползанию» городов при снижении численности населения в них.

Следовательно, развитие представленного направления закладывает единые методологические основы организации транспортного обслуживания на различных видах транспорта, обеспечивая при этом приемлемую конкуренцию между ними, и создает стимул для поиска новых технологий, повышения качества обслуживания населения.

Таким образом, пассажиропотоки на различных видах транспорта как сложные системы, отличающиеся разно-

образом состояний, требуют нового подхода к их анализу и управлению. Следует подчеркнуть, что высокая степень потенциальных возможностей транспорта и низкая степень их реализации в случае неэффективной организации транспортной схемы обслуживания будет формировать опасные тенденции его развития, что приводит к приоритету одного вида по отношению к другому.

Подводя итог вышесказанному, можно выдвинуть ряд новых положений при взаимодействии видов транспорта.

1 Фундаментальным источником неустойчивости пассажиропотока является имманентно воспроизводящееся противоречие между возможностями транспортных средств, имеющих, например, ограничения по скорости передвижения, комфорта поездки и т. п., что не всегда соответствует потребностям пассажиров.

2 Содержание и направленность диссипативных процессов, происходящих в пассажиропотоках, сводится к прогрессирующему процессу творчества социума, выражающемуся как в познании естественных законов природы, так и в создании всё более совершенных искусственных систем, их эволюция развития «направляется» специфическим аттрактором, представляющим собой набор целей, к которым они тяготеют.

3 Применение представлений об аттракторе при изучении систем расселения в агломерации позволят рассмотреть дальнейшие пути развития пассажирских перевозок на различных видах транспорта.

Список литературы

- 1 Теория бифуркаций / В. И. Арнольд [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 128 с.
- 2 Власюк, Т. А. Железнодорожный пассажирский транспорт в территориальной структуре городов-центров и их спутников в Республике Беларусь (ретроспективный анализ и перспектива развития): [монография] / Т. А. Власюк. – М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус, гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 230 с.
- 3 Паташинский А. З. Флуктуационная теория фазовых переходов / А. З. Паташинский, В. Л. Покровский. – 2-е изд. – М., 1982. – 381 с.
- 4 Базыкин, А. Д. Портреты бифуркаций / А. Д. Базыкин, Ю. А. Кузнецов, А. И. Хибник. – М. : Знание, 1989. – 45 с.
- 5 Ильяшенко, Ю. С. Аттракторы и их фрактальная размерность / Ю. С. Ильяшенко. – М. : МЦНМО, 2005. – 16 с.
- 6 Йосс, Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж. Йосс, Д. Джоузеф. – М. : Мир, 1983. – 301 с.
- 7 Кузнецов, А. П. Динамические системы и бифуркации / А. П. Кузнецов. – Саратов, 2015. – 168 с.
- 8 Постнов, Д. Э. Бифуркации регулярных аттракторов: учеб. пособие / Д. Э. Постнов. – Саратов : Колледж, 1996. – 102 с.
- 9 Хакен, Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен ; пер. с англ. Ю. А. Данилова. – М. : Мир, 1991. – 240 с.

Получено 25.09.2020

T. A. Vlasuk. Formation of the attractor area as a zone of relatively stable passenger traffic on railway transport.

The concept of "Attractor" is currently widely used in various spheres of human life, including can be used in railway transport, as a basis for the formation of a relatively stable state of passenger traffic. At the same time, it should be borne in mind that attractions contribute to improving the interaction of various modes of transport to serve the population in the agglomeration, which should be carried out on the basis of a comprehensive study of passenger traffic patterns, a plan for future urban development, etc. The search and finding of new attractors will ensure the development of passenger transport on the railway and increase its passenger traffic.