

УДК 656.2: 656.1

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

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Концептуальное моделирование – это сравнительно новое актуальное и активно развивающееся научное направление в области теории, методологии, технологии и средств моделирования сложных систем, к которым относятся пассажирские транспортные системы (ПТС) крупных городов, требующие сегодня совершенствования, что возможно при помощи концептов посредством выделения классов элементов на основе их обобщения по однородным или отличительным существенным признакам. Следовательно, концепт для пассажирских транспортных систем выступает как результат обобщения их свойств, признаков, закономерных связей и делает возможным развитие концептуального моделирования, как на фазе создания их моделей, так и их применения.

Формирование концептов для пассажирской транспортной системы осуществляется при помощи различных методов исследования, среди которых обобщение, аппроксимация, абстрагирование, идеализация, сравнение, вербализация, формализация и т. п., что делает возможным определение ее содержания, являющегося основной характеристикой. Это позволяет представить совокупность атрибутов определенного класса объектов, отраженных в данном концепте, а также их взаимосвязями друг с другом в конкретной пассажирской транспортной системе.

Рассмотрим соотношение между содержанием и объемом концепта ПТС при помощи закона обратного отношения, согласно которому с увеличением содержания концепта уменьшается его объем, и наоборот, с уменьшением содержания – увеличивается объем. Для этого закон обратного отношения, а также приведенные выше определения могут быть интерпретированы посредством диаграмм Эйлера-Венна. Пусть заданы два объекта-оригинала – два вида транспорта $\sum_1^{\text{ж}} O$ (железнодорожный), $\sum_1^{\text{ао}} O$ (автомобильный общественный), которые образуют пассажирскую транспортную систему крупного города $\sum_1^{\text{ПТС}} O$. Тогда каждый из заданных объектов-оригиналов с достаточной степенью полноты характеризуется соответствующей совокупностью атрибутов, например, провозной способностью (Π_1), скоростью сообщения (Π_2) и т. п.: $\sum_1^{\text{ж,ао}} O \Leftrightarrow (\Pi_1^{\text{ж,ао}}, \dots, \Pi_i^{\text{ж,ао}})$. На основе эквивалентных отображений каждый из представленных объектов-оригиналов может быть представлен соответствующим концептом, т. е. $\sum_1^{\text{ж,ао}} O \sim K_1^0 O$.

Следовательно, содержание концепта $K_1^{\text{ПТС}} O$ будет определяться совокупностью атрибутов $\{P_i^{\text{ж}}\}$, содержание концепта $K_2^{\text{ПТС}} O$ – совокупностью атрибутов $\{P_i^{\text{ао}}\}$. Далее рассмотрим концепты, представляющие пары объектов-оригиналов. Для объектов $K_1^{\text{ПТС}} O$ и $K_2^{\text{ПТС}} O$ определим эквивалентный концепт $K_{12}^{\text{ПТС}} O$, содержание которого определяется пересечением двух совокупностей атрибутов: $K_{12}^{\text{ПТС}} O \Leftrightarrow \{P_i^{\text{ж}}\} \cap \{P_i^{\text{ао}}\}$. Тогда

содержание итогового концепта $K_{\Sigma}^{\text{ПТС}} O$, определяющего совокупность $\sum^{\text{ПТС}} O$ из двух объектов-оригиналов, будет характеризовать выражение $\sum^{\text{ПТС}} O \Leftrightarrow \{P_i^{\text{ж}}\} \cap \{P_i^{\text{ао}}\}$.

Как видно из примера, концептуальное проектирование ориентировано на моделирование процессов взаимодействия видов пассажирского транспорта, что позволяет решать различные задачи по транспортному обслуживанию населения, например, установить зоны тяготения пассажиропотоков на различных видах транспорта в рассматриваемой системе и т. п.

Эффективность концептуального проектирования транспортных систем может быть оценена количественными показателями при помощи мультипликативного обобщенного критерия качества:

$$\Theta_{tot}(\bar{\Theta}) = \prod_{i=1}^{N_{tot}} \Theta_i^{\alpha_i}, \quad 0 < \alpha_i < 1, \quad \sum_{i=1}^{N_{tot}} \alpha_i = 1, \quad (1)$$

где $\bar{\Theta}$, $\Theta_{N_{tot}}$ – компоненты вектора нормированных критериев качества $\bar{\Theta} = \Theta_1, \dots, \Theta_{N_{tot}}$, связанные с соответствующими им размерными критериями качества $\bar{K} = (K_1, \dots, K_{N_{tot}})$ по одной из следующих формул ($\zeta \geq 1$):

$$\Theta_i = \left(\frac{K_i}{K_i^{\max}} \right)^{\zeta}, \quad \Theta_i = \left(1 - \frac{K_i}{K_i^{\max}} \right)^{\zeta}, \quad \Theta_i = \left(1 - \frac{|K_i - K_i^0|}{K_i^{\max}} \right)^{\zeta}, \quad (2)$$

где K_i^{\max} – максимальное значение i -го критерия качества K_i , K_i^0 (например, комфорт поездки пассажира в зависимости от скорости передвижения); $\bar{\Theta}$, $\Theta_{N_{tot}}$ – некоторое фиксированное значение i -го критерия качества K_i . Структуризация, создаваемая концептуализацией, позволяет получать соответствующие наборы переменных, на основании которых выполняются требуемые расчеты.

Таким образом, рассмотренный пример отражает возможность модельного представления пассажирской транспортной системы в виде определенного набора математических объектов, обладающих существенными признаками реальной системы и позволяет выявить особенности ее функционирования и развития

на основе анализа и структуризации свойств и характеристик. Следует отметить, что различные виды транспорта связаны воедино, и полнота их взаимодействия может быть выявлена только при анализе ПТС как единого целого. Поэтому необходимо при разработке мероприятий по ее развитию обеспечивать усиление этого единства, предусматривать создание единых систем расселения и их транспортное обслуживание, которое в настоящее время приобретает особую актуальность и где сегодня наблюдается активная конкуренция среди различных видов транспорта, основанная в значительной степени на теоретическом анализе экономистов Мейера, Кейна, Уола по критерию минимизации затрат. Однако в предложенной ими теории не учитываются различия по таким показателям, как производительность, эксплуатационные характеристики, привлекательность и комфорт для пассажиров в пути следования, а также антропогенное воздействие на окружающую среду, что привело к приоритету автомобильного транспорта, росту уровня автомобилизации и нарушению принципа целостности при исследовании транспортных проблем. В связи с этим требуется эффективная координация работы различных видов пассажирского транспорта, рационализация транспортных связей городов и пригородных зон на основе изучения процессов их формирования и развития с учетом сложившихся условий, в которых доминируют современные формы уклада и потребительской культуры городского образа жизни. Поэтому важным аспектом является анализ типов взаимодействия различных видов транспорта (таблица 1).

Таблица 1 – Типы взаимодействий различных видов транспорта

Тип взаимодействий	Краткая характеристика	Графическая интерпретация
Нейтральное	Ни один вид не влияет на другой	
Взаимное конкурентное подавление	Виды транспорта активно подавляют друг друга	
Конкуренция взаимодействия из-за единого ресурса (пассажиропотока)	Непрямое подавление при дефиците общего ресурса (пассажиропотока)	
Комменсализм	Один из видов (комменсал) получает прибыль от взаимодействия	
Протокооперация	Взаимодействие благоприятно для обоих видов, но не обязательно	

На основании таблицы 1 может быть выполнено сегментирование сферы взаимодействия видов транспорта на рынке услуг, что возможно при помощи метода функциональных карт (двойного сегментирова-

ния) и кластерного анализа. Первый метод позволяет разделить сферы обслуживания пассажиров на различных видах транспорта, т. е. выполнить сегментацию в зависимости от их функциональных и технических параметров, выбранных для анализа, и определить, какие из них наиболее полно подходят в зависимости от конкретных условий. При этом сегментирование может быть полным или частичным и позволит:

- выполнить корректировку рынка транспортных услуг;
- определить характеристические особенности пассажиропотоков и установить, какие из них являются устойчивыми и поэтому более значимыми для разработки прогнозных показателей;
- выявить, как изменяются параметры пассажиропотоков при их освоении на различных видах транспорта.

Для отбора сегментов рынка транспортных услуг может быть разработана оценочная карточка, пример которой приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карточка для отбора сегментов рынка транспортных услуг

Показатели	Критерии оценки		
	Коэффициент значимости	Балльная оценка <i>i</i> -го сегмента по <i>j</i> -критерию	Суммарная оценка сегмента с учетом коэффициента значимости
Провозная способность	0,3	5	1,5
Возможность вида транспорта снизить коэффициент неравномерности пассажиропотока по часам суток и дням недели	0,3	4	1,2
Соответствие движения подвижного состава расписанию	0,2	3	0,6
Комфорт при передвижении	0,2	3	0,6

Коэффициенты значимости каждого оценочного критерия могут быть определены экспертным путем. При этом если сегмент набирает по критерию меньше, чем установлено, число баллов, он автоматически выбывает из дальнейшего рассмотрения.

Результаты анализа методом двойной сегментации могут быть оформлены в виде матрицы, по строкам которой откладывается значение показателя, а по столбцам – сегменты рынка сферы транспортного обслуживания (таблица 3).

Рассмотрение взаимодействия видов транспорта согласно приведенным в таблице 2 показателям позволяет избежать противоречий, нередко возникающих при моделировании ПТС городов. При этом необходимо учитывать, что типы взаимодействия видов транспорта на различных этапах обслуживания населения не стабильны и могут меняться в процессе развития пассажирской транспортной системы.

Таблица 3 – Функциональная карта сравнения автомобильного и железнодорожного транспорта при обслуживании пассажиров

Показатель	Вид транспорта			
	железнодорожный	автомобильный	железнодорожный	автомобильный
Стоимость поездки	++	XX	++	+
Скорость поездки	+	++	+	+
Поездка от двери до двери	0	0	XX	++
...
ИТОГО	+	XX	XX	+

Примечание – ++ – фактор полностью соответствует потребностям пассажира; + – фактор в целом соответствует потребностям пассажира; 0 – фактор незначителен; X – фактор в целом не соответствует потребностям пассажира; XX – фактор абсолютно не соответствует потребностям пассажира.

Для вышеприведенного примера рассмотрим организацию перевозочного процесса по отдельным видам транспорта как элемента ПТС, связь которого с внешней городской средой и взаимодействие видов транспорта осуществляется через пассажиропотоки. При этом минимальная структура ПТС включает в себя два вида транспорта – железнодорожный и автомобильный, и, соответственно, связь между ними осуществляется посредством обмена пассажиропотоками на остановочных пунктах или вокзале, где происходит их разделение (бифуркация) или устанавливается обратная связь. Это приводит к значительным изменениям значений характеристических параметров в течение коротких отрезков времени и невозможность их прогнозирования в силу почти стохастического характера направления этих изменений (так называемый эффект «выбора пути»).

При этом остановочный пункт или вокзал может быть представлен как специально выделенная точка, которая согласно математическому моделированию элементов сложных систем является полюсом и в данном примере – центром тяготения пассажиропотока. Тогда входные полюса для рассматриваемого примера (пассажиропоток с железнодорожного транспорта, следующий до вокзала или остановочного пункта) можно представить в виде

$$\Pi_{ж}^v = \{ \Pi_{ж_1}^v, \dots, \Pi_{ж_j}^v, \dots, \Pi_{ж_n}^v \}. \quad (3)$$

Для выхода имеем множество выходных полюсов (пассажиропоток городского общественного транспорта)

$$\Pi_{гор}^v = \{ \Pi_{гор_1}^v, \dots, \Pi_{гор_j}^v, \dots, \Pi_{гор_m}^v \}. \quad (4)$$

Прямая связь как пересечение множества полюсов B -элемента с B -элементом

$$C_v^B = \left[\bigcup_{i=1}^{m_v} \Pi_{ж_i}^v \right] \cap \left[\bigcup_{j=1}^{n_v} \Pi_{гор_j}^v \right]. \quad (5)$$

При установлении зависимости одних параметров, например входов (в рассматриваемом примере пассажиропоток железнодорожного транспорта), от других выходов (или пассажиропоток городского общественного транспорта) можно получить модель с обратной связью (рисунок 1).

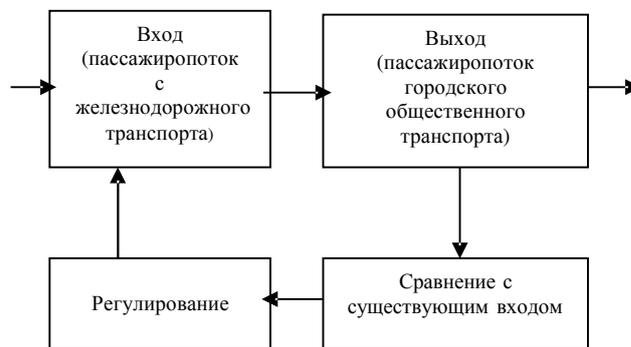


Рисунок 1 – Модель обратной связи в ПТС

Согласно рисунку 1, если оценка результата меньше оценки «входа», то за счет регулирования можно увеличить его интенсивность, и, наоборот, в случае, если больше оценка «вход», то проводится его снижение. Следовательно, обратная связь положительна, если возрастающие результаты увеличивают интенсивность «входа», и отрицательна, если возрастающие результаты уменьшают его интенсивность.

Проведенное исследование показало, что наличие точки разделения, которой является вокзал (или остановочный пункт), возможно рассмотрение ее как бифуркации, вызывающей изменения в транспортной системе. Это приводит к значительным изменениям значений характеристических параметров в течение коротких отрезков времени и невозможность их прогнозирования в силу почти стохастического характера направления этих изменений (так называемый эффект «выбора пути»).

Следует отметить, что стохастические системы относятся к классу нелинейных динамических систем и могут быть представлены функциональным уравнением

$$S^T(t) = G[\lambda, \Pi_{пр}^v(t), \Pi_{гор}^v(t)] |_{t_0 \leq \tau \leq t}, \quad (6)$$

где $\Pi_{пр}^v(t)$ – входной случайный процесс (пригородный пассажиропоток, следующий до вокзала или остановочного); $\Pi_{гор}^v(t)$ – выходной случайный процесс (городского общественного транспорта); параметр λ характеризует случайность нелинейного преобразования, представляемого функционалом G .

Следовательно, в сложных системах, к которым относится и ПТС, можно выделить несколько последовательно и параллельно связанных между собой контуров обратной связи, что подтверждается практикой. Например, в середине XX века железнодорожный транспорт занимал доминирующее положение при перевозке пригородных пассажиров. Однако в результате интенсивного роста уровня автомобилизации в начале XXI века значение параметра «вход» применительно к железнодорожному транспорту изменилось, и новые его значения служат, можно

сказать, индикатором возрастающей диспропорции в транспортной системе. При этом необходимо учесть, что факторы, влияющие на данные параметры системы, начинают действовать достаточно задолго до того, как эволюционная стадия сменится революционной. Какое-то время транспортная система сохраняет устойчивость, несмотря на то, что ряд характеризующих её параметров претерпевают необратимые изменения и сохраняются за счёт других значений, которые продолжают задавать прежние ее базовые свойства. Но в определённый момент времени данных параметров, сохраняющих прежние значения, оказывается недостаточно, и транспортная система изменяет свое состояние, оказываясь в точке бифуркации. Далее, вследствие изменений, не успевает сформировать совокупность новых значений параметров, задающих новый комплект её базовых свойств, которые могли бы обеспечить её стабильное функционирование. Поэтому характеристические параметры получают набор некоторых временных значений, обеспечивающих кратковременную псевдоустойчивость системы, которая переводится в новое состояние.

Таким образом, предложенный анализ позволит осуществить научно обоснованный выбор того или иного вида транспорта для качественного формирования или развития конкретной пассажирской транспортной системы и эффективно реализовать научно-технические решения по ее развитию.

Список литературы

1 **Ваксман, С. А.** Транспортные системы городов: наука и практика первого десятилетия XXI века // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы X Международной науч.-практ. конференции. – Екатеринбург, 2004. – С. 12–18.

2 Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учеб. пособие / А. В. Гасников [и др.]; под ред. А. В. Гасникова. – М. : МФТИ, 2010. – 362 с.

3 **Наумова, Н. А.** Метод определения функции транспортных затрат для узловой точки сети типа «нерегулируемое пересечение потоков требований» / Н. А. Наумова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10 (ч. 4). – С. 717–722.

4 **Наумова, Н. А.** Метод определения функции транспортных затрат в узловых точках сети / Н. А. Наумова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8 (ч. 4). – С. 853–857.

5 **Наумова, Н. А.** Определение параметров распределения обобщенного закона Эрланга по экспериментальным данным при изучении транспортных потоков / Н. А. Наумова, Л. М. Данович, Ю. И. Данович // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 5.

6 **Швецов, В. И.** Математическое моделирование транспортных потоков // *Автоматика и телемеханика*. – 2003. – № 11. – С. 3–46.

7 **Naumova, N. A.** Problems of Optimisation of Flows Distribution in the Network // *Applied Mathematics*. – Vol. 3. – No. 1. – 2013. – P. 12–19. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : doi: 10.5923/j.am.20130301.02.

8 **Воинов, Б. С.** Информационные технологии и системы / Б. С. Воинов. В 2 кн. Кн. I. Методология синтеза новых решений. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2001. – 404 с.

9 **Власюк, Т. А.** Особенности моделирования транспортных систем / Т. А. Власюк // *Проблемы безопасности на транспорте* : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. проф. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 48.

10 **Советов, Б. Я.** Моделирование систем : учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высш. шк., 2001. – 343 с.

11 **Веников, В. А.** Теория подобия и моделирование / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М. : Высш. шк., 1984. – 243 с.

12 **Коршунов, Ю. М.** Математические основы кибернетики : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Коршунов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.

Получено 10.01.2014

T. A. Vlasuk. Conceptual modeling passenger transport systems.

Conceptual modeling – a relatively new and rapidly developing relevant research area in the field of theory, methodology, technology and tools for modeling complex systems, which include passenger transport system (PTS) major cities today demanding improvement that is possible using concepts by highlighting the item classes on the basis of their generalizations distinctive uniform or essential characteristics. Consequently, the concept of passenger transport systems appears as the result of generalization of their properties, attributes, logical connections and makes possible the development of conceptual modeling, as a phase of building their models and their application.