

УДК 656.212.5

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

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ТЕХНИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ

Существуют различные типы выводов по аналогии, общими для которых является то, что во всех случаях непосредственному исследованию подвергается один объект, а вывод делается о другом. При этом модель всегда выступает как аналогия, отображающая объект, находящийся в определенном сходстве (подобии) с аналогом.

На основании вышеизложенного виды пассажирского транспорта, конкурирующие между собой за ресурс (пассажиропоток), также могут быть рассмотрены как аналоги некоторым биологическим системам, в которых наблюдается конкурентная борьба.

Аналогия (греч. *analogia* – соответствие) – сходство объектов (явлений, процессов) в каких-либо свойствах. Установление сходства (или различия) между объектами осуществляется в результате их сравнения, которое лежит в основе метода аналогии, являющегося сегодня одним из универсальных приемов, аккумулирующих интеллектуальные ресурсы для поиска новых идей и решения различных инженерных задач. При этом древнейшим методом аналогии является группа методов аналогии с природой – «учителем» человека.

Биологическое моделирование демонстрирует управляемое параметрами моделей возникновение и изменение во времени пространственной неоднородности, появление простых и сложных структур и дает возможность выявления как общих, так и частных или случайных характеристик пространственно-временной организации системы.

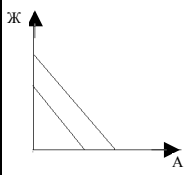
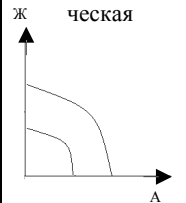
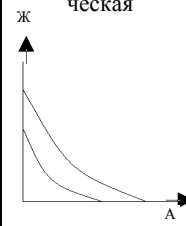
В философии техники пионерами биологических интерпретаций, несомненно, выступают Э. Капп и П. Энгельмейер, которые показали, что основные биологические свойства можно поставить в соответствие определенным техническим явлениям (например, биологическую особь – конкретному изобретению, а отбор – результатам его испытания и т. п.). Исследования Энгельмейера П. подтверждены Тулминым С. и Кудриным Б. Тулмин С. в статье «Инновация и проблема приложения» сделал попытку перенести разработанную им на основе дарвиновской теории естественного отбора методологическую модель эволюционных изменений в сферу технических изобретений и получил сходную с результатами Энгельмейера П. схему.

Кудрин Б. И., автор технетики, показал, что если технику рассматривать как множество слабо связанных между собой изделий, определяемых документами, а также особенностями инновационной деятельности, такими как диверсификация, вариофикация, ассортица, то техника может быть рассмотрена как естественное образование, напоминающее биоценозы.

Таким образом, сравнивая технические средства с животным миром, делая антропологическую оценку, можно их рассматривать как живой организм.

В контексте вышесказанного рассмотрим конкуренцию различных видов транспорта по аналогии на примерах биологических систем (биоценозов), где наблюдается комменсализм, аменсализм, протокооперация и т. п., проявляющиеся как позитивно, так и негативно (таблица 1).

Таблица 1 – Графическая интерпретация взаимодействий различных видов транспорта

Краткая характеристика варианта взаимодействия	Графическая интерпретация и тип зависимости	Формула расчета
Полная взаимозаменяемость видов транспорта (возможность замены некоторого количества транспортных средств одного вида пропорциональным количеством другого)	Линейная 	$a(A, Ж) = k_1$
Антагонистический вариант взаимодействия: для обеспечения требуемой провозной способности необходимо пропорционально больше транспортных единиц, чем при их использовании по отдельности	Параболическая 	$a(A, Ж) = k_1 A^2 Ж$ $b(A, Ж) = k_2 А Ж^2$ $k_1, k_1 < 0$
Комплементарный (дополнительный): при одновременном использовании двух видов транспорта требуется меньшее количество их средств, чем полной взаимозаменяемости видов транспорта	Гиперболическая 	$a(A, Ж) = \frac{k_1 Ж}{А}$ или $b(A, Ж) = \frac{k_2 А}{Ж}$

Комменсализм между двумя видами транспорта может быть представлен следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dЖ}{dt} = r_1, Ж \left(1 - \frac{Ж}{n_1} \right) = P(Ж, А) \\ \frac{dА}{dt} = r_2, А \left(1 - \frac{А}{n_2 + a_{21}Ж} \right) = Q(Ж, А), \end{cases} \quad (1)$$

где Ж и А – железнодорожный и автомобильный транспорт соответственно; r_1, r_2 – коэффициенты увеличения количества железнодорожного и автомобильного транспорта соответственно; n_1, n_2 – пропускная способность железнодорожного и автомобильного транспорта соответственно. P, Q – скорость изменения количества и железнодорожного и автомобильного транспорта соот-

ветственно; a_{21} – коэффициент взаимодействия видов транспорта между собой.

Первое уравнение описывает развитие железнодорожного транспорта в рамках логической модели Ферхюльста, в которой учитывается его пропускная способность. Во втором уравнении также учитывается конкуренция видов транспорта, однако, положительное влияние железнодорожного транспорта способствует повышению пропускной способности автомобильного транспорта.

Математическая модель двухвидовой системы аменсализма, состоящей из двух видов транспорта (железнодорожного и автомобильного), при которой один вид транспорта подавляет другой, но не испытывает его отрицательного влияния может быть представлена в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dЖ}{dt} = r_1Ж \left(1 - \frac{Ж}{k_1} \right); \\ \frac{dА}{dt} = r_2А \left(1 - \frac{А}{k_2 - a_{21}Ж} \right), \end{cases} \quad (2)$$

где k_1, k_2 – плотность транспортной сети железнодорожного и автомобильного транспорта; a_{21} – коэффициент взаимодействия видов транспорта между собой.

Коэффициент a_{21} показывает, насколько уменьшается плотность сети при увеличении плотности первого вида на единицу. При $k_1/k_2 > a_{21}$ существует единственное устойчивое стационарное состояние, при котором сосуществуют оба вида транспорта:

$$Ж, А = (k_1, k_2 - a_{21}k_1).$$

Таким образом, если коэффициент взаимодействия a_{21} незначителен ($a_{21} < k_2/k_1$), то два вида транспорта могут существовать, хотя количество одного из них (аменсала) снижается до более низкого значения. Если же коэффициент взаимодействия значителен ($a_{21} > k_2/k_1$), то происходит полное вытеснение вида-аменсала.

Математическая модель протокооперации двух видов транспорта (железнодорожного и автомобильного) является симбиотическим отношением, полезным для каждой из них, но не обязательным – каждый вид транспорта может существовать независимо друг от друга. Модель протокооперации двух видов транспорта, также может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dЖ}{d\tau} = \gamma_1 \left(1 - \frac{Ж}{\dot{Ж}} \right) + a_{12}ЖА; \\ \frac{dА}{d\tau} = \gamma_2 \left(1 - \frac{А}{\dot{А}} \right) + a_{21}ЖА, \end{cases} \quad (3)$$

где $А$ и $Ж$ – количество подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта соответственно; γ_1, γ_2 – удельные скорости увеличения количества железнодорожного и автомобильного транспорта соответственно; a_{12}, a_{21} – константы, характеризующие скорость влияния одного вида транспорта на другой; $\dot{Ж}, \dot{А}$ – максимальное количество железнодорожного и

автомобильного транспорта при отсутствии влияния друг на друга.

Замена $Ж = \dot{Ж}\zeta_1, А = \dot{А}\zeta_2, t = \gamma_1\tau$ переводит систему уравнений (3) в следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d\zeta_1}{dt} = \zeta_1(1 - \zeta_1 + a_1\zeta_2); \\ \frac{d\zeta_2}{dt} = \mu\zeta_2(1 - \zeta_2 + a_2\zeta_2), \end{cases} \quad (4)$$

где $\mu = \gamma_2/\gamma_1, a_1 = a_{12}\dot{Ж}/\gamma_1, a_2 = a_{21}\dot{Ж}/\gamma_2$.

Тогда стационарные точки этой системы уравнений ($\zeta_1 = 0, \zeta_2 = 0$), ($\zeta_1 = 1, \zeta_2 = 0$) и ($\zeta_1 = 0, \zeta_2 = 1$) будут неустойчивыми.

Стационарная точка $\zeta_1 = \frac{1+a_1}{1-a_1a_2}; \zeta_2 = \frac{1+a_2}{1-a_1a_2}$ будет иметь физический смысл, если выполняется неравенство $a_1a_2 < 1$.

Тогда стационарная точка устойчива, так как характеристический полином матрицы Якоби правой части уравнений (4) $P(\chi) = \chi^2 + (\zeta_1 + \mu\zeta_2)\chi + \mu(1 - a_1a_2)\zeta_1\zeta_2$ будет иметь корни с отрицательной вещественной частью. Следовательно, при протокооперации в тендеме возможно значительное развитие одного вида транспорта при достаточно сильном влиянии друг на друга исходя из условия $a_1a_2 > 1$.

При этом использование метода технико-биологических аналогий возможно, когда исследуемые процессы, равно как и биологические формально представлены одинаковыми (или близкими) математическими моделями. При этом, если биологическая модель уже исследована, то вполне естественно использование полученных результатов для анализа рассматриваемого процесса. Например, так же как и в живой природе, организмы разного уровня развития и сложности по отношению друг к другу находятся в состоянии конкуренции, которая имеет различный характер, но не всегда враждебный. Иногда они даже поддерживают друг друга, что позволяет им выжить в непростых условиях существования и агрессивности внешней среды. Такие же аналогичные процессы происходят при взаимодействии различных видов транспорта, которые конкурируют между собой за единый ресурс – пассажиропоток. Помимо этого, может быть использована некоторая наглядность, что также является немаловажным фактором при решении проблемных аспектов взаимодействия различных видов транспорта в агломерации.

На основании таблицы 2 может быть выполнено сегментирование сферы взаимодействия видов транспорта на рынке услуг, что возможно при помощи метода функциональных карт (двойного сегментирования) 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 парамет-

ров, выбранных для анализа и определить, какие из них наиболее полно подходят в зависимости от конкретных условий (таблица 2).

Таблица 2 – Сегментация рынка транспортных услуг

Параметры	Виды транспорта	
	автомобильный	железнодорожный
Скорость доставки	Высокая	Средняя
Безопасность	Средняя	Высокая
Регулярность передвижения	Средняя	Высокая
Комфорт	Средний	Высокий
Период обслуживания	Ограниченный	Круглосуточный
Сегмент рынка пассажирских перевозок	Пригородные и городские перевозки	Региональные перевозки, дальнее сообщение

Как видно из таблицы 2, обслуживание пассажиров в различных сообщениях предполагает индивидуальный подход в организации основной услуги – перевозке массовых, социально значимых, платежеспособных пользователей, предоставление для них сопутствующих и дополнительных услуг, которые придают основной услуге большую привлекательность и способствуют лучшему обеспечению комфортности поездки и ее восприятию. Особенно большое значение сопутствующие и дополнительные услуги приобретают в настоящее время, что вызвано развитием рыночных отношений и усилением конкуренции на рынке транспортных услуг.

В таблице 3 приведены типы взаимодействий различных видов транспорта.

Таблица 3 – Типы взаимодействий различных видов транспорта

Тип взаимодействий	Краткая характеристика	Графическая интерпретация	Вид транспорта	
			автомобильный	железнодорожный
Нейтральное	Ни один вид не влияет на другой		0	0
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 транспорта (комменсал) получает прибыль от взаимодействия		0	+
Аменсализм	Один вид транспорта подавляет другой, но не испытывает его отрицательного влияния		-	0
Протокооперация	Взаимодействие благоприятно для обоих видов транспорта, но не обязательно		+	+

Примечание – «0» – взаимодействие между видами транспорта отсутствует; «+» – взаимодействие между видами транспорта присутствует; «-» – при взаимодействии виды транспорта подавляют друг друга.

При этом сегментирование может быть полным или частичным и позволит:

- определить характеристические особенности пассажиропотоков и установить, какие из них являются устойчивыми и поэтому более значимыми для разработки прогнозных показателей;

- выполнить корректировку рынка транспортных услуг;

- 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 4.

Таблица 4 – Оценочная карточка для отбора сегментов рынка транспортных услуг

Показатели	Критерии оценки		
	Коэффициент значимости	Бальная оценка <i>i</i> -го сегмента по <i>j</i> -му 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 меньшее, 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 5).

Получено 20.04.2018

T. A. Vlasuk. Development of mathematical models of interaction of types of transport in the metropolitan area based on the method of technical and biological analogies.

There are different types of conclusions by analogy, common to which is that in all cases, one object is directly investigated, and the conclusion is made about the other. In this case, the model always acts as an analogy, displaying an object that is in a certain similarity (similarity) with the analog. On the basis of the above types of passenger transport, competing with each other for the resource (passenger traffic) can also be considered as analogues of some biological systems in which there is competition.

Таблица 5 – 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.

Рассмотрение взаимодействия видов транспорта согласно приведенным в таблице 5 показателям позволяет избежать противоречий, нередко возникающих при моделировании взаимодействия двух видов транспорта в городах. При этом необходимо учитывать, что типы взаимодействия видов транспорта на различных этапах обслуживания населения нестабильны и могут меняться в процессе развития пассажирской транспортной системы.

Список литературы

- 1 **Аверьянов, А. Н.** Системное познание мира: методологические проблемы / А. Н. Аверьянов. – М., 1991. – С. 261–263.
- 2 **Власюк, Т. А.** Применение метода технико-биологических аналогий для оценки взаимодействия видов транспорта в агломерации / Т. А. Власюк // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2018.
- 3 **Колпак, Е. П.** Математическая модель взаимодействия творческих субкультур / Е. П. Колпак, А. В. Гаврилова // Молодой ученый. – 2016. – № 21. – С. 1–8.
- 4 **Думачев, В. Н.** Эволюция антагонистически-взаимодействующих популяций на базе двумерной модели Ферхюльста – Пирла / В. Н. Думачев, В. А. Родин // Математическое моделирование. – 2005. – С. 11–22.
- 5 **Рожковский, А. Д.** Моделирование конкурентных взаимоотношений возникающих в популяциях между особями различной экологической стратегии / А. Д. Рожковский // Научные записки НГУЭУ. – Новосибирск, 2004. – Вып. 4.