



УДК 656.11

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ CR-ФУНКЦИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ VISUM НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ХЕРМАНА-ПРИГОЖИНА

В.И. Колесов, Тюменский индустриальный университет.

К. Бёттгер, компания A+S Consult (A+C Транспроект).

В задачах городского транспортного планирования широко используется программный комплекс PTV Vision® VISUM, разработанный компанией PTV AG. Одной из важных задач, решаемых комплексом, является оценка временных затрат на преодоление элементов транспортной сети, при этом предусматривается использование алгоритмов (например, CR-функций), созданных пользователем. Аналитическое обоснование таких функций определяется выбранной моделью транспортного потока. Практика показывает, что одной из типовых является модель Хермана-Пригожина.

Ключевые слова: модифицированная модель Хермана-Пригожина, структурная и параметрическая идентификация модели, пользовательская CR-функция, программное тестирование.

Постановка задачи. Управление транспортным комплексом города предполагает использование информационно-аналитической системы (ИАС) для обоснования и поддержки принимаемых решений. В задачах городского транспортного планирования широко используется программный комплекс PTV Vision® VISUM, разработанный компанией PTV AG. Одной из важных задач, решаемых комплексом, является оценка временных затрат на преодоление элементов транспортной сети [1]. Система VISUM предусматривает при этом использование алгоритмов, в частности, функций CR (Capacity-Restraint), созданных пользователем. В работах [2-4] было дано аналитическое обоснование CR-функции VK01 для отрезка пути для случая «сшивания» гидродинамической модели транспортного потока с моделью Танаки. Практика последнего времени показывает, что более корректно поток описывается моделью Хермана-Пригожина. В статье предлагается CR-функции VK02 для этой модели.

Решение задачи. В практическом плане задача формулируется следующим образом: какое время требуется на преодоление отрезка пути между двумя узлами транспортной сети? Эта каноническая задача имеет на сегодняшний день массу конкурентоспособных решений, в зависимости от вида фундаментальной диаграммы транспортного потока (ТП), положенной в основу подхода [5]. Специфика авторской точки зрения изложена в работе [6]. В соответствии с ней, при разработке аналитического представления фундаментальной диаграммы однородного транспортного потока использована модифицированная модель Хермана –Пригожина.

Суть и логика модели Хермана-Пригожина (МХП) хорошо известны [7-10], тем не менее, для понимания предлагаемого решения придется напомнить её основные моменты.

Как известно, модель основана на предположении, что в реальном транспортном потоке можно выделить 2 группы транспортных средств: неподвижных (точнее медленнодвигающихся) и подвижных (быстродвигающихся). Средняя скорость транспортного потока определяется их пропорцией. Задача, в конечном счете, сводится к нахождению этой пропорции. Логично допустить, что время поездки TT на расстояние в 1 км равно сумме времен движения RT и простоя ST .



$$TT = RT + ST \quad (1)$$

из чего следует, что, во-первых, доля простоев f_s составляет $f_s = ST/TT$, а средние скорости поездки $V_{cp.s}$ и движения $V_{cp.t}$ соответственно равны $V_{cp.s} = 1/TT$ и $V_{cp.t} = 1/RT$.

При создании МХП разработчиками использованы 2 гипотезы: первая из них постулирует, что

$$V_{cp.t} = V_m (1 - f_s)^n \quad (\text{здесь } V_m - \text{максимальная скорость потока; } n - \text{индикатор Хермана-Пригожина}),$$

а вторая (созданная General Motors) – полагает, что $f_s = (q/q_m)^p$ (здесь q и q_m – соответственно текущая и максимальная плотность ТП; p – константа).

Зная скорость движения $V_{cp.t}$, легко определить среднюю скорость поездки $V_{cp.s}$. Действительно, $V_{cp.s}/V_{cp.t} = RT/TT = (TT - ST)/TT = 1 - f_s$, т.е. $V_{cp.s} = V_{cp.t} \cdot (1 - f_s)$, тогда

$$V_{cp.s} = V_m \cdot (1 - f_s)^n (1 - f_s) = V_m \cdot (1 - f_s)^{n+1} = V_m \cdot [1 - (q/q_m)^p]^{n+1} \quad (2)$$

Это соотношение удобно записать в несколько ином виде

$$x = (1 - z^p)^{n+1} \quad (3)$$

где $x = V_{cp.s}/V_m$; $z = q/q_m$.

В формуле (2) модель индикатора n , к сожалению не идентифицирована, поэтому нами предприняты соответствующие шаги.

Если прологарифмировать соотношение (3), то получим $\ln(x) = (n+1)\ln(1 - z^p)$, из чего следует

$$n = \frac{\ln(x)}{\ln(1 - z^p)} - 1 \quad (4)$$

График функции (4), построенный по данным системы TRAFFIC MONITOR, приведен на рис.1. Вычисление плотности потока q на полосе осуществлялось с учетом скважности разрешающего сигнала светофора по измеренным значениям интенсивности и скорости, а q_m – по минимальному продольному габариту безопасной езды.

Как видим, математическая модель индикатора n (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.9822$) может быть представлена в виде

$$n(z) = n_0 / z^g \quad (5)$$

где $n_0 = 1.059491$; $g = 1.951349$.

Однако, есть основание предполагать, что в идеале $n_0 = 1$, т.е. можно принять

$$n(z) = 1/z^g \quad (6)$$

при этом показатель g записать как $g = w \cdot p$

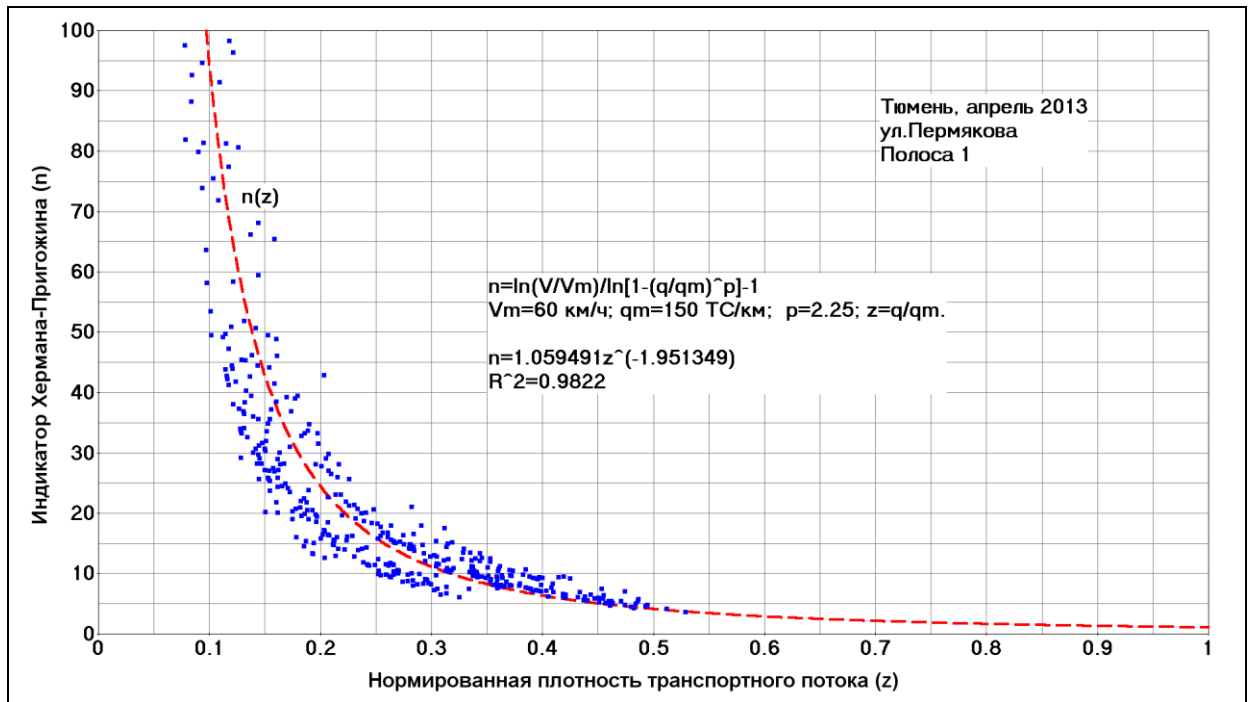


Рис. 1. Индикатор Хермана-Пригожина

В этом случае соотношение (3) примет вид (рис.2) модифицированной нами модели Хермана-Пригожина

$$x(z) = (1 - z^p)^{1 + z^{-w \cdot p}} \quad (7)$$

или

$$V = V_m (1 - f_s)^{1 + f_s^{-w \cdot p}} \quad (8)$$

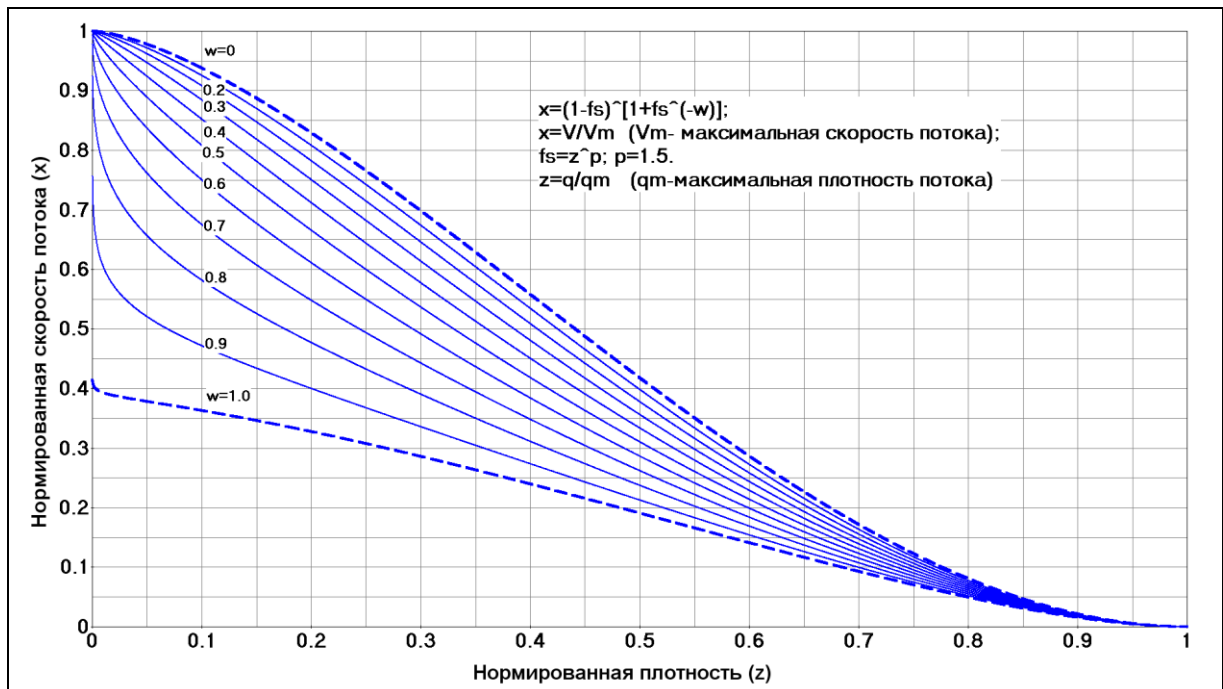


Рис. 2. Модифицированная модель Хермана-Пригожина



На рисунке 3 приведены результаты параметрической идентификации модифицированной модели Хермана-Пригожина $x(f_s)$ для каждой из трех полос (П1, П2 и П3) реального транспортного потока. Выделена линия продольного динамического габарита безопасной езды (DG).

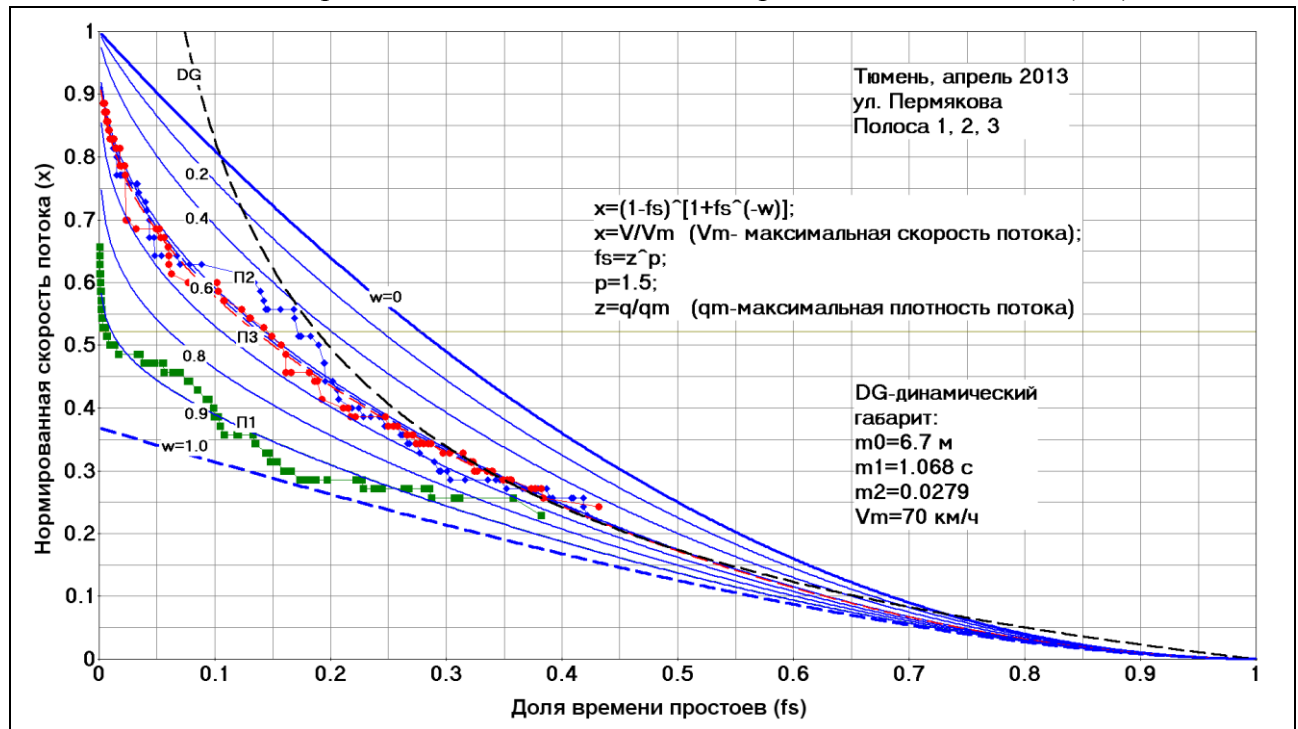


Рис. 3. График зависимости нормированной скорости потока (x) от доли времени простоев (f_s)

К рисунку 3 следует дать небольшой комментарий. Экспериментальные кривые П1, П2 и П3 были построены на основе рангового анализа [11] нормированных скоростей $x(r)$ и нормированных плотностей $z(r)$, при этом каждая кривая $x(z)$ - строилась как результат параметрического представления функции через параметр r (т.е. $x(z) = F[x(r), z(r)]$). Затем кривые $x(z)$ с использованием модели General Motors $f_s = z^p$ были пересчитаны в $x(f_s)$.

Перейдем далее к CR-функции. В основе оценки времени в пути (t) в пакете VISUM используются CR-функции вида $CR(SG) = t(SG)/t_0$ (здесь t_0 - время при свободном движении). Аргументом является уровень нагруженности сети (или степень насыщения SG).

Обычно первоначально принято решать задачу применительно к потоку легковых автомобилей, а затем при необходимости (например, для многокомпонентного потока) делать пересчет. Будем следовать этой традиции, поэтому далее рассматривается однородный поток легкового транспорта.

Если использовать понятие нормированной скорости $x = V/V_{озп}$, то

$$CR = \frac{t}{t_0} = \frac{L_{otr}/V}{L_{otr}/V_{озп}} = \frac{V_{озп}}{V} = \frac{1}{x} \quad (9)$$

где L_{otr} - длина отрезка пути.



В системе VISUM в качестве аргумента функции CR используется уровень нагруженности сети (или степень насыщения SG), что требует знания максимально достижимой интенсивности транспортного потока. Учитывая, что нормированная интенсивность равна $n = z \cdot (1 - z^p)^{1+z^{-g}}$, максимум n достигается при $dn/dz = 0$, т.е. при

$$(1 - z^p)^{1+z^{-g}} + z(1 - z^p)^{1+z^{-g}} \left[(1 + z^{-g}) / (1 - z^p) \cdot (-p \cdot z^{p-1}) - z^{-g} g / z \cdot \ln(1 - z^p) \right] = 0$$

После простых преобразований получим

$$z \cdot (1 + z^{-g}) / (1 - z^p) \cdot (p \cdot z^{p-1}) + z^{-g} \cdot g \cdot \ln(1 - z^p) = 1$$

или

$$z_{opt} \cdot (1 + z_{opt}^{-wp}) / (1 - z_{opt}^p) \cdot (p \cdot z_{opt}^{p-1}) + z_{opt}^{-wp} \cdot w \cdot p \cdot \ln(1 - z_{opt}^p) = 1 \quad (10)$$

Уравнение (10) позволяет определить z_{opt} - нормированную плотность, доставляющую экстремум величине n .

Выразим z через z_{opt} и степень насыщения потока SG , под которой будем понимать отношение $SG = z / z_{opt}$, тогда

$$CR = \frac{1}{X} = 1 / (1 - z^p)^{1+z^{-w \cdot p}} = 1 / \left[1 - (SG \cdot z_{opt})^p \right]^{1+(SG \cdot z_{opt})^{-w \cdot p}} \quad (11)$$

Практическое использование полученного результата предполагает выполнение параметрической идентификации модели (11) для реальных условий.

В качестве примера приведем графики CR -функций (рис.4) для конкретных условий работы транспортного потока, оговоренных на рис.3. (для полосы 1 при $p = 1.5$; $w = 0.9$ получим $z_{opt} = 0.42291$, а для полос 2 и 3 при $p = 1.5$; $w = 0.6$ имеем $z_{opt} = 0.38446$).

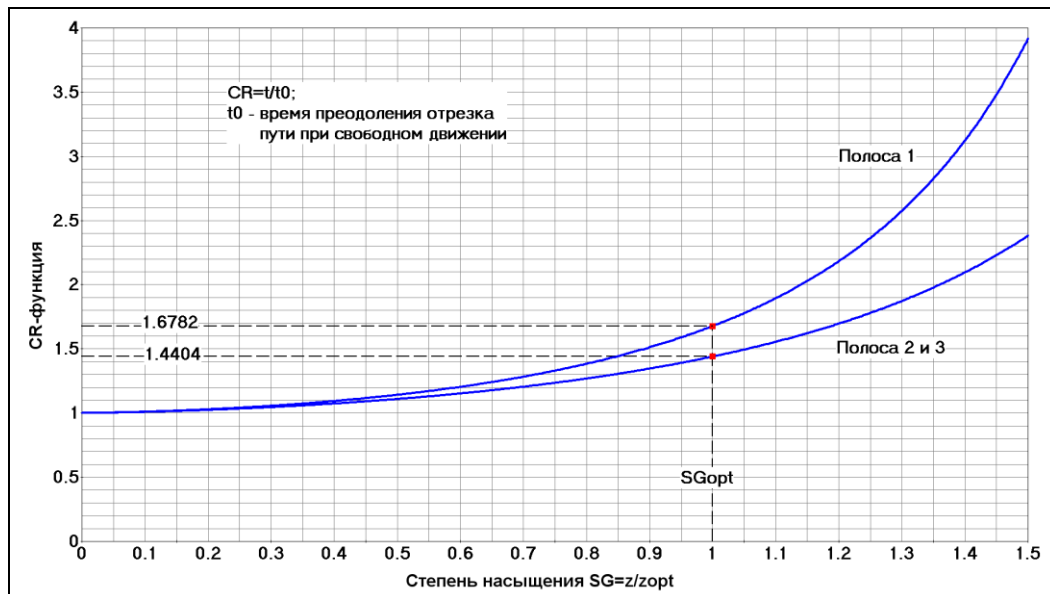


Рис. 4. CR -функция VK-02



Таким образом, получены базовые модели (см.(10) и (11)) CR-функции отрезка пути в условиях ограничения скорости транспортного потока и удовлетворяющие требованию безопасной езды. Выполнено их программное тестирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозе Д. Моделирование транспортного предложения и спроса на транспорт для пассажирского и служебного транспорта – обзор теории моделирования // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов седьмой международной научно-практической конференции. СПб гос. архит.-строит. ун-т. СПб, 2006 – 544 с.
2. Колесов В.И. Пользовательская CR-функция для системы VISUM. // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Всероссийской НПК. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С.132-137
3. Колесов В.И. Нормированная фундаментальная диаграмма транспортного потока в условиях ограничения скорости //Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы V Всероссийской НТК с международным участием. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012 . - С. 25 - 31.
4. Колесов В.И. Нормированная диаграмма транспортного потока в режиме свободного движения //Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной НТК . Т.4. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – С.26-30.
5. Введение в математическое моделирование транспортных потоков (Под ред. А.В. Гасникова): М.: Изд-во МЦНМО, 2013. – 429 с.
6. Колесов В.И., Санник А.О., Новоселов Д.М., Морозов В.В. Модель Хермана-Пригожина в задачах управления дорожным движением. В печати.
7. Herman R., Prigogine I. A Two-Fluid Approach to Town Traffic //Science.- 1979. - Vol. 204. - pp. 148-151.
8. Ardekani, S. A. and R. Herman, (1987). Urban Network-Wide Variables and Their Relations. Transportation Science. - Vol. 21, No. 1.
9. Ardekani, S.A., J.C. Williams and S. Bhat, (1992). Influence of Urban Network Features on Quality of Traffic service.
10. Блинкин М.Я., Ткаченко Б.А. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. - Екатеринбург:Изд-воАБМ, 2009.-С. 135-143.
11. Колесов В.И., Петров А.И. Использование ранговых распределений при анализе безопасности дорожного движения //Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской НПК студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Т.1 – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014 – С. 258 -262