

Таким образом, в работе описан опыт практического применения прикладного системного анализа, намечены направления исследований, ориентированных на управление человеческими ресурсами в процессе коллективной работы. Соответствующие исследования реализуются в учебно-исследовательских ситуационных центрах г. Омска.

Библиографические ссылки

1. Щедровицкий Г. П. О системе педагогических исследований (методологический анализ) // Избранные труды. М. : Школа культурной политики, 1995.
2. Тарасенко Ф. П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем) : учебник. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2004.
3. Армстронг М. Стратегическое управление человеческими ресурсами. М. : Инфра-М, 2002.
4. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Синергетическое мировидение. М. : Ком-Книга, 2005.
5. Катунина И. В., Сугоняк В. В. Синергетический подход в управлении человеческими ресурсами // Межвуз. сб. тр. Омск : СибАДИ, 2008. Вып. 5. Ч. 2. С. 110–116.
6. Катунина И. В., Сугоняк В. В. Форма реализации синергетического подхода в управлении человеческими ресурсами // Проблемы и перспективы развития экономики труда : сб. материалов 8-й межрегион. конф. Иркутск : БГУЭП, 2008, С. 163–169.
7. Marchetti C. Anthropological Invariants in Travel Behavior // Technological Forecasting and Social Change. 1994. № 47. С. 75–88.
8. Тарасов В. К. Искусство управленческой борьбы. Технологии перехвата и удержания управления. М. : Добрая книга, 2007.
9. Информационные технологии для ситуационных центров / О. С. Анисимов [и др.]. Омск : Изд-во ОГИС, 2010.
10. Филимонов В. А. Рефлексивный театр в проекте междисциплинарного исследовательского комплекса «Ген-Гуру» // Рефлексивные процессы и управление : сб. материалов VI Междунар. симп. М. : Когито-Центр, 2007. С. 121–123.
11. Повстяная А. Н., Филимонов В. А. Театр медицины и медицина в театре // Рефлексивный театр ситуационного центра (РТСЦ-2007) : Всерос. конф. с междунар. участием / Омск. гос. ин-т сервиса. Омск, 2007. С. 102–110.

V. V. Sugonyak, V. A. Filimonov

HUMAN RESOURCES MANAGEMENT FOR COLLECTIVE RESEARCH AND TRAINING

In the article we consider experience and prospects of application of the system approach to management of human resources. Results of experiment on system design of system of training in organization are elaborated with offers on application of other approaches connected with features of a person as the biological and social subject. Tools of consideration are the synergetics, reflexive theatre and Tai-Chi as an example of approach based on oriental philosophy.

Keywords: system design, synergetics, reflexive theatre.

© Сугоняк В. В., Филимонов В. А., 2010

УДК 51.77

Т. Б. Юргельян, Е. С. Кирик, Д. В. Круглов

О ВАЛИДАЦИИ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ SIGMA.CA ПО ДАННЫМ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ДИАГРАММ*

Проводится валидация дискретной стохастической модели движения людей SIGMA.CA. Приводятся фундаментальные диаграммы (зависимость потока от плотности) для некоторых геометрий пространства в зависимости от параметров модели. Модельные данные сравниваются с натурными.

Ключевые слова: дискретно-стохастическая модель движения людей, валидация модели, фундаментальная диаграмма.

В наши дни вопрос безопасной эвакуации людей из зданий и сооружений становится все более актуальным. Поэтому возникает потребность в математических моделях движения людей, например, с целью определения наилучшей геометрии пространства, где предполагается скопление и задержка движения, определения времени эвакуации и т. д.

Несмотря на то, что существует достаточное количество как коммерческих предложений подобных моделей, так и научных исследований в этой области [1; 2], продолжение исследований остается востребованным из-за сложности рассматриваемого процесса (движение людей) и вариативности натуральных данных.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 г.», ГК № 09.0708.11.014, Лаврентьевского конкурса молодежных проектов 2010 г.

Вопросы валидации и верификации моделей являются одними из самых важных. На сегодняшний день единственным качественным способом верификации моделей движения людей является построение фундаментальной диаграммы (ФД). ФД – это кривая, отображающая зависимость скорости человека от плотности или потока от плотности. В то же время, диаграммы, полученные разными учеными в разных странах и в различных условиях, могут отличаться друг от друга в силу того, что движение человека обусловлено многими факторами, зависит от окружающей обстановки и психологического состояния. Тем не менее, у всех ФД есть одно общее свойство: с ростом плотности поток растет и, достигнув максимума при определенном значении плотности, начинает убывать; скорость уменьшается с ростом плотности.

Обычно данные замеряются на прямом участке пути. В литературе утверждается, что повороты не влияют на движение людей, однако не приводятся ни качественные, ни количественные доказательства этого утверждения [3]. При малых плотностях потока или небольших скоростях это, действительно, так. Но с другой стороны, если скорость достаточно велика, то при совершении поворота она уменьшится. Также средние и большие плотности влияют на динамику движения, и поворот не может не сказаться на величине потока. Поэтому возникает вопрос, будут ли ФД, построенные для различных геометрий пространства, совпадать.

В работе рассматриваются ФД, полученные с помощью дискретной стохастической модели SIGMA.CA (Stochastic field Movement of Artificially People Intelligent Cellular Automata model) для двух различных геометрий пространства, и приводится сравнение модельных данных с некоторыми натурными [4] (см. Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. On realizing the shortest time strategy in a CA FF pedestrian dynamics model // Cybernetics and Systems. 42:01. 2011 (to appear)). Цель работы – выявить, влияет ли вид пути на ФД, и насколько модельные данные соответствуют натурным.

Модель движения людей SIGMA.CA. Пусть известны геометрия рассматриваемого пространства и начальное расположение частиц (людей) в этом пространстве. Пространство представляет собой плоскость, разбитую на ячейки 40×40 см, которые могут быть либо свободными, либо занятыми только одной частицей. В ячейках также могут располагаться стены и другие недвижимые препятствия.

Целью передвижения частиц является ближайший выход. Информацию о местоположении любого выхода дает статическое поле S , которое можно интерпретировать как карту местности [5]. Поле S радиально возрастает от точки выхода, не изменяется со временем и под действием частиц.

На каждом временном шаге частица может переместиться в одну из четырех свободных соседних ячеек или остаться на месте (окрестность фон Неймана). Направление частицы предполагается случайным и определяется на основе вероятностей переходов в

каждом направлении для каждой частицы в каждый дискретный шаг времени и набором правил переходов частиц [4].

Правила перехода частиц следующие: сначала рассчитывается поле S , затем на каждом временном шаге вычисляются переходные вероятности и выбирается направление для перехода. Если две или более частицы претендуют на одну и ту же ячейку, применяется процедура разрешения конфликтов: либо все частицы остаются на прежних местах, либо только одной будет позволено переместиться. Стоит отметить, что вероятность перехода в занятую ячейку в общем случае не равна нулю. Частице, выбравшей занятое направление, предоставляется возможность либо выбрать другое направление для перехода, либо остаться на месте и подождать, пока выбранное направление освободится. Правила применяются ко всем частицам в один и тот же момент времени.

При вычислении переходных вероятностей учитывается «карта» расстояний до выходов S , желание частиц двигаться по направлению к выходу и желание держаться на некотором расстоянии от людей и от стен, что обеспечивается соответствующими параметрами модели $k_S > 0$, $k_P > 0$, $k_W > 0$ и радиусом видимости $r > 0$ (расстояние в количестве ячеек).

Исследования. Рассматривались два примера (рис. 1). Было организовано движение частиц с постоянной плотностью p [$1/m^2$], частицы равномерно располагались по всему пространству. Замерялось время T (в шагах), за которое через сечение пройдет определенное количество частиц N (для прямого коридора $N = 1\,000$, для коридора с поворотами $N = 200$) для заданной плотности потока.

Примечание. Эксперименты проводились Т. Б. Юргельян; программный комплекс, реализующий модель SIGMA.CA, разработан Д. В. Кругловым, постановка задачи и научное руководство – Е. С. Кирик.

Параметры модели k_S и k_W были фиксированными, и $k_S = k_W = 4$ (параметр $k_S = 4$ соответствует направленному движению частиц), параметры k_P и r изменялись. Рассмотрим следующие пары: $k_P = 2$ и $r = 1$, $k_P = 4$ и $r = 1$, $k_P = 4$ и $r = 10$, $k_P = 12$ и $r = 10$.

По полученным данным был вычислен поток $J_{\text{мод}} = N/T/2$ [$1/(m \cdot \text{шаг})$] и построены ФД (рис. 2), которые показывают, что модель чувствительна к изменению вида пути (прямой или с поворотами).

На малых плотностях (при $p < 1$ [$1/m^2$]) ФД совпадают, но на средних – поток для примера 2 (рис. 2, б) в два раза меньше потока для примера 1 (рис. 2, а). Это означает, что в прямом коридоре скорость движения выше, чем в коридоре с поворотами.

Плотность, при которой $J_{\text{мод}}$ достигает максимального значения, для примера 1 больше, чем для примера 2 (почти всегда) (см. таблицу). Значение $p(J_{\text{max}})$ интерпретируется как величина плотности, после которой передвижение людей становится затруднительным и падает скорость движения. Таким образом, в прямом коридоре частицы двигаются быстрее при большей плотности.

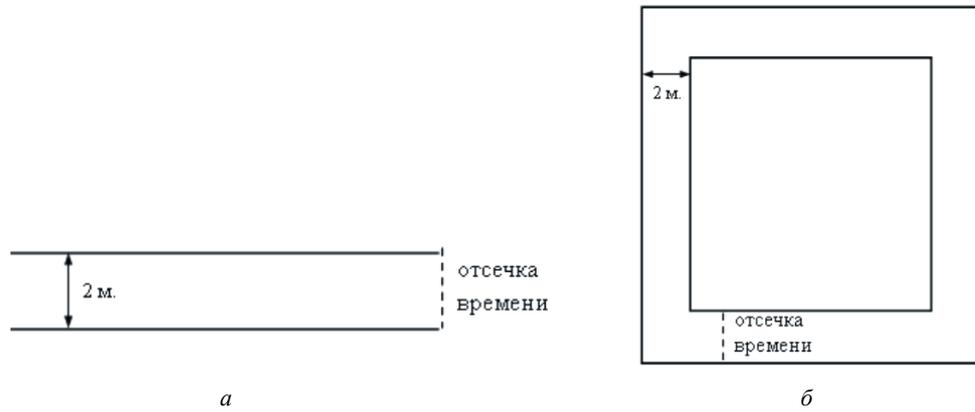


Рис. 1. ФД, построенные по модельным данным:
а – пример 1; б – пример 2

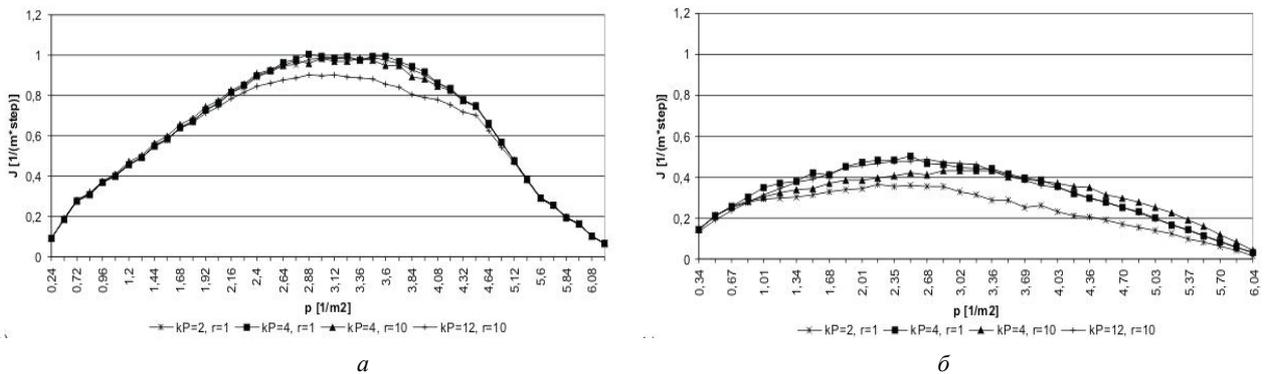


Рис. 2. Фундаментальные диаграммы:
а – для примера 1; б – для примера 2

Значения $\rho(J_{\max})$ для примеров 1, 2

$\rho(J_{\max}), 1/m^2$	$k_p = 2, r = 1$	$k_p = 4, r = 1$	$k_p = 4, r = 10$	$k_p = 12, r = 10$
Для примера 1	3,44	2,88	2,96	2,88
Для примера 2	2,18	2,52	3,19	2,68

Параметры модели определяют динамику модели и оказывают влияние на величину потока [4]. Например, параметры, которые соответствуют максимальному по величине потоку для примера 1 ($k_p = 2, r = 1$), для примера 2 дают минимальное значение потока (см. таблицу). Это объясняется влиянием параметров на динамику движения, но этот вопрос в данной статье обсуждаться не будет. Отметим только, что для прямого коридора наилучшими параметрами с точки зрения реалистичности динамики движения будет пара $k_p = 2, r = 1$, для коридора с поворотами – $k_p = 4, r = 10$ и $k_p = 12, r = 10$, на малых плотностях достаточно хорошие результаты могут быть и при $k_p = 4, k_p = 2$ и $r = 1$.

Сравнение ФД, полученных по модельным и натурным данным. В качестве натуральных использовались данные Предтеченского и Милинского (PM) [6], Вейдманна (WM) [7] и Зейфрида (Seufried) [8]. В первом и во втором случае данные получены на прямых участках пути, данные Зейфрида – на замкнутом

контуре формы овала. Отметим, что в экспериментах Вейдманна и Зейфрида люди двигались медленнее (поток ниже), чем у Предтеченского и Милинского.

Для сравнения модельных и натуральных данных требуется приведение к единым единицам измерения. Напомним, что за один расчетный шаг частица может передвинуться на 40 см, поэтому единица измерения потока $1/(m \cdot \text{шаг})$ переводится в $1/(m \cdot c)$ по формуле $J = N/(T \cdot 0,4/V)/2$, где V – скорость движения потока (экспериментальные данные), соответствующая данной плотности.

На рис. 3 отражены полученные результаты, приведены потоки для экспериментальных данных и модельных расчетов. В случае прямого коридора наблюдается совпадение расчетных и экспериментальных значений потоков для малых и средних плотностей (примерно до плотности $2,88 1/m^2$). Поэтому можно утверждать, что на таких плотностях в целом динамика потока, воспроизводимая моделью, совпадает с имеющей место в натуральных экспериментах.

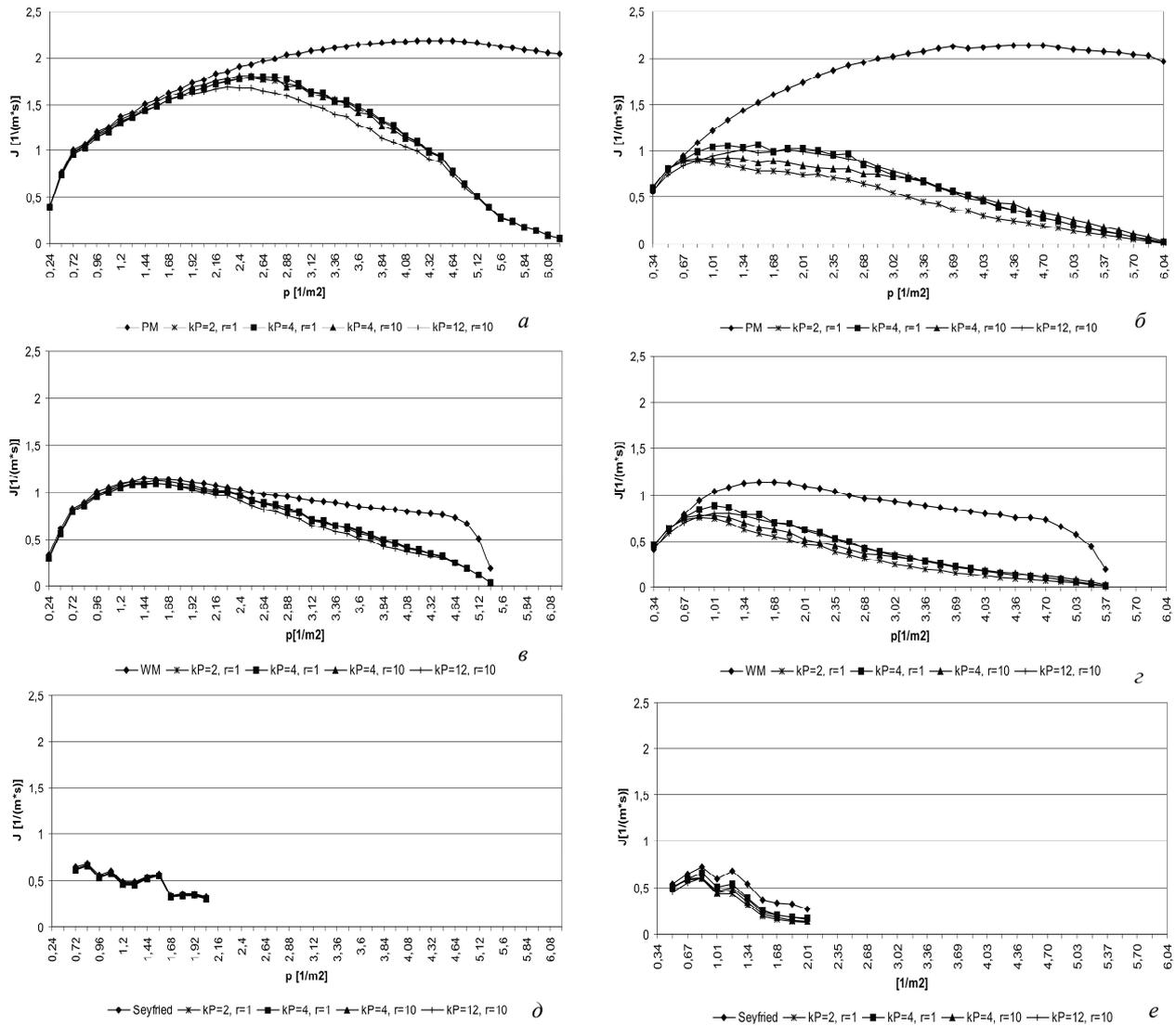


Рис. 3. Фундаментальные диаграммы, вычисленные с помощью различных натуральных данных: PM – данные Предтеченского и Милинского, WM – Вейдманна и Seyfried – Зейфрида; а, б, в, г – для примера 1; з, д, е – для примера 2

С дальнейшим ростом плотности динамика модели замедляется. Причем, чем медленнее экспериментальная скорость, тем при больших значениях плотности начинаются существенные расхождения модельных и экспериментальных кривых.

В случае движения по замкнутому кругу, чем медленнее экспериментальная скорость, тем меньше величина расхождения между модельными и экспериментальными данными. Причем кривые начинают расходиться уже при плотности $0,84 \text{ 1/m}^2$, т. е. при достаточно свободном движении. Наилучшее совпадение для данной формы пути наблюдается с данными Зейфрида, которые получены также на пути замкнутой формы.

Анализ и сравнение результатов для разных форм пути (рис. 3, а, б, в, г соответственно) показывают следующее. Экспериментальные и модельные кривые, полученные в схожих условиях (рис. 3, а, в), совпадают при малых и средних плотностях, но отличаются

на тех же плотностях на рис. 3, б, г. Из этого факта можно сделать вывод, что наличие поворотов все же имеет влияние на динамику людского потока. Этот тезис подтверждает рис. 3, е, где происходит сравнение с натурными данными, полученными на замкнутом контуре, и имеется наибольшее совпадение.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- модель чувствительна к виду пути: при наличии поворотов поток уменьшается примерно в два раза по сравнению с прямым участком;
- поток для модели SIGMA.CA согласуется с натурными данными на прямых участках пути при плотностях до $2,88 \text{ 1/m}^2$;
- отсутствие натуральных данных для геометрий, подобных примеру 2, не позволяет делать полноценные выводы об адекватности модели;
- необходимы дополнительные натурные эксперименты.

Библиографические ссылки

1. Kuligowsky E. D., Peacock R. D. A review of evacuation models / National Institute of Standards and Technology, U. S. Department of Commerce, Technical note. 1471. 2005.
2. Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications / A. Schadschneider [et al.] // Encyclopedia of Complexity and System Science. Springer. 2009.
3. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие. М. : Академия ГПС МЧС России, 2009.
4. Kirik E., Yurgel'yan T., Krouglov D. The Shortest Time and/or the Shortest Path Strategies in a CA FF

Pedestrian Dynamics Model // Журн. СФУ. Сер. Математика и физика. 2009. С. 271–278.

5. Schadschneider A., Seyfried A., Validation of CA models of pedestrian dynamics with fundamental diagrams // Cybernetics and Systems. 2009. Vol. 40 (5). P. 367–389.
6. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. М., 1969.
7. Weidmann U. Transporttechnik der Fubganger. Schriftentreihe des IVT. Nr. 90. ETH-Zurich, 1993.
8. The Fundamental Diagram of Pedestrian Movement Revisited / A. Seyfried [et al.] // J. Stat. Mech. Theory Exp. P10002. 2005.

T. B. Yurgel'yan, E. S. Kirik, D. V. Krouglov

**ON VALIDATION OF SIGMA.CA MODEL OF PEDESTRIAN DYNAMICS
ACCORDING TO DATA OF FUNDAMENTAL DIAGRAMS**

Validation of SIGMA.CA model of pedestrian dynamics is carried out. Fundamental diagrams (the relation between density and flow) for a certain geometries are presented for different way shapes and model parameters. The simulation data are compared with experimental.

Keywords: discrete stochastic model of pedestrian dynamics, validation, fundamental diagram.

© Юргельян Т. Б., Кирик Е. С., Круглов Д. В., 2010

УДК 519.8

Я. И. Демченко, А. С. Орлова

**ОБ ИССЛЕДОВАНИИ НЕКОТОРЫХ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОЦЕНОК
ФУНКЦИИ РЕГРЕССИИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ**

Рассматривается задача восстановления функции регрессии по наблюдениям со случайными ошибками. Применение для этих целей классических непараметрических оценок кривой регрессии не всегда дает удовлетворительные результаты на выборках небольшого объема. Предлагается новый класс непараметрических оценок, позволяющих повысить качество восстановления кривой регрессии по наблюдениям.

Ключевые слова: непараметрические оценки, ядерные оценки, квадратичное отклонение, регрессия, статистическое моделирование, сходимость, дискретно-непрерывные процессы.

В настоящее время известно большое число работ, посвященных непараметрическому восстановлению функций регрессии по наблюдениям с ошибками [1; 2]. Однако при обработке реальных данных приходится сталкиваться с ограниченными неравномерными выборками переменных $\{x_i, y_i, I = 1, \dots, s\}$, содержащих сгущения, пустоты и разреженности в выборочном пространстве. В таких ситуациях классические непараметрические оценки кривой регрессии дают неудовлетворительные результаты, поэтому возникает необходимость введения новых непараметрических оценок функции регрессии, которые отличаются от известных использованием специальных ядерных функций. Исследуются также асимптотические свой-

ства полученных оценок и приводятся результаты статистического моделирования.

Непараметрические оценки функции регрессии. Пусть (x, y) – случайная величина со значениями в пространстве $\Omega(x, y) \subset R^2$, $p(x, y) > 0$ – плотность распределения двумерной случайной величины (x, y) , она неизвестна, кроме того $p(x) > 0$. Дана выборка из s статически независимых наблюдений двумерной случайной величины $(x, y) = (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_s, y_s)$.

Обычно за непараметрическую оценку функции регрессии принимают статистику [1; 2]

$$y_s(x) = \frac{\sum_{i=1}^s y_i \Phi\left(\frac{x-x_i}{C_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x-x_i}{C_s}\right)}, \quad (1)$$