

УДК 656.072

ОБОСНОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА РЕСПОНДЕНТОВ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЫБОРА ПАССАЖИРОМ ПУТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В МАРШРУТНОЙ СИСТЕМЕ ГОРОДА

П.Ф. Горбачев, проф., д.т.н., А.В. Макаричев, доц., к.ф.-м.н.,
С.В. Пронин, доц., к.т.н., О.В. Свичинская, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Предложен способ расчета достаточного количества анкет при проведении обследований с целью получения фактических значений частоты использования альтернативных вариантов пути для построения функции полезности передвижения на основе допустимой величины относительной погрешности коэффициентов функции полезности.

Ключевые слова: респондент, выборка, путь передвижения, альтернатива, функция полезности, уравнение регрессии, коэффициент.

ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ РЕСПОНДЕНТІВ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ ВИБОРУ ПАСАЖИРОМ ШЛЯХУ ПЕРЕСУВАННЯ В МАРШРУТНІЙ СИСТЕМІ МІСТА

П.Ф. Горбачов, проф., д.т.н., О.В. Макаричев, доц., к.ф.-м.н.,
С.В. Пронін, доц., к.т.н., О.В. Свічинська, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Запропоновано спосіб розрахунку достатньої кількості анкет при проведенні обстежень з метою отримання фактичних значень частоти використання альтернативних варіантів шляху для побудови функції корисності пересування на основі допустимої величини відносної похибки коефіцієнтів функції корисності.

Ключові слова: респондент, вибірка, шлях пересування, альтернатива, функція корисності, рівняння регресії, коефіцієнт.

JUSTIFICATION OF THE NUMBER OF RESPONDENTS FOR CONDUCTING A SURVEY OF PASSENGER ROUTE CHOICE IN THE CITY ROUTE SYSTEM

P. Gorbachov, Prof., D. Sc. (Eng.), A. Makarichev, Assoc. Prof., Ph. D. (Phys. & Math.),
S. Pronin, Assoc. Prof., Ph. D. Sc. (Eng.), O. Svichinskaya, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. An approach for determining the sufficient number of respondents whose route choice should be investigated in order to model the passenger route choice in a city route system is developed. The approach allows to assign the acceptable value of the relative error of parameters when defining the utility function.

Key words: respondent, sample, route, alternative, utility function, regression, coefficient.

Введение

В любом научном исследовании вопрос о степени его эффективности всегда остается актуальным. Каждый научный работник в

ходе исследований обязательно проходит этап планирования и проведения эксперимента, качество и эффективность которого зависят не только от наличия материальной базы, но и от уровня его организации [1].

Именно правильная организация экспериментальной части исследования позволяет получать наиболее ценную информацию при минимуме трудовых, материальных и временных затрат.

При планировании работы городского пассажирского транспорта (ГПТ) всегда возникает вопрос прогнозирования спроса на услуги тех или иных его видов или отдельных маршрутов. При этом существенную помощь в решении такого рода задач оказывают адекватные модели выбора пассажиром пути передвижения. Изучение подобного выбора в маршрутных системах городов (МСГ) требует грамотной организации и проведения соответствующего обследования. Самыми важными позициями здесь остаются выбор метода проведения обследования и определение такого количества респондентов, которое обеспечивает достоверное отображение предпочтений большинства жителей города, пользующихся ГПТ.

Анализ публикаций

В случае моделирования трудовых передвижений пассажиров в МСГ используются различные методы. Так, на сегодняшний день наиболее популярным подходом при решении задачи выбора пассажиром пути передвижения являются модели дискретного выбора. В них в качестве основных инструментов получения информации о факторах функции полезности применяются разновидности методов фиксации фактического выбора пассажирами пути передвижения [2], в которых наблюдение за выбором альтернативы происходит однократно. Поэтому и результатом могут быть только частоты появления, равные 1, если альтернатива выбрана, или 0 – в противном случае. Однако вопрос о количестве опрошенных пассажиров, совершающих такой (однократный) выбор, не поднимается, и проверить качество полученного статистического материала не представляется возможным.

Другим подходом в поиске информации для построения функции полезности является метод моделирования намерений [3]. Согласно этому подходу при моделировании дискретного выбора пассажир описывает только два возможных пути передвижения: привычный путь и наилучший из оставшихся. Однако данный способ поиска информа-

ции для построения функции полезности не получил широкого распространения из-за недостаточно проработанного математического аппарата обработки результатов. Наибольшее распространение среди отечественных методов обследования трудовых передвижений пассажиров получили анкетный, талонный, табличный и визуальный [4, 5]. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, но и они не дают конкретных указаний к определению достаточного количества респондентов для проведения обследования. Авторы обычно ограничиваются ссылками на методы математической статистики в планировании эксперимента.

В свою очередь, общим вопросам планирования экспериментальных исследований посвящено достаточно много трудов и лишь немногие из них, к примеру [6, 7], дают представление о расчете необходимого объема выборки, обеспечивающего надежный статистический материал. Но представленные в этих работах подходы направлены только на определение объема выборки для расчета среднего значения или заданной доли в генеральной совокупности. Они основаны на двух теоремах – П.Л. Чебышева и А.М. Ляпунова [8]. Первая позволяет определить генеральную среднюю (долю) по данным случайной повторной выборки; вторая – рассчитать максимальную ошибку выборочной средней (доли) при заданном числе независимых наблюдений. Согласно этой теореме при достаточно большом числе независимых наблюдений генеральной совокупности с конечной средней (долей) и ограниченной дисперсией вероятность того, что расхождение между выборочной и генеральной средней (долей) не превзойдет по абсолютной величине некоторую случайную величину, равна интегралу Лапласа [7]

$$P(|\tilde{x} - \bar{x}| \leq \mu t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-t}^{+t} e^{-t^2/2} dt, \quad (1)$$

где \tilde{x} – выборочная средняя; \bar{x} – генеральная средняя; μ – величина стандартной ошибки; t – коэффициент кратности средней ошибки выборки, зависящий от вероятности, с которой гарантируется величина предельной ошибки Δ , определяется по таблице квантилей распределения Стьюдента.

Конечной целью выборочного наблюдения является характеристика генеральной сово-

купности. Однако при малых объемах выборки эмпирические оценки параметров могут существенно отклоняться от их истинных значений, и поэтому возникает необходимость в установлении границ, в пределах которых для выборочных значений параметров лежат их истинные значения [7]

$$\tilde{x} - \Delta \leq \bar{x} \leq \tilde{x} + \Delta. \quad (2)$$

Такие границы характеризуются предельной ошибкой выборки $\Delta = \mu t$. А величина μ , в зависимости от способа сбора выборочной информации, может иметь различную форму представления. Одним из вариантов является определение величины μ для случая повторного эксперимента; так, для среднего

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \quad (3)$$

где σ^2 – выборочная дисперсия; n – объем выборочной совокупности.

Учитывая выражения (1)–(3), необходимый объем выборки, который с практической вероятностью обеспечит заданную точность генеральной совокупности, равен [7, 8]

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}. \quad (4)$$

Описанные выше способы оценки объема выборки не подходят для случаев, когда нужно определить достаточное количество наблюдений с целью построения регрессионной зависимости. Другими словами, эти способы не позволяют получить значения коэффициентов регрессионной зависимости, отражающей влияние нескольких факторов на результирующий признак, что характерно для моделирования выбора пассажиром пути передвижения [8]. Однако возможно решить такую задачу при сохранении сущности описанного подхода (1)–(4), заключающуюся в установлении границ, в пределах которых для выборочных значений параметров лежат их истинные значения, характеризующиеся предельной ошибкой выборки.

Цель и постановка задачи

Известные подходы к расчету объема выборки создают достаточную основу для разработки таких же методов в применении к коэффициентам регрессии. Это обусловлено

тем, что выборочное среднее является частным (вырожденным) случаем регрессионной зависимости, с одним свободным членом. Поэтому для получения искомого объема выборки в случае регрессионной зависимости необходимо обобщить известные методы оценки точности расчета среднего значения на основе выборочных наблюдений. Исходя из этого, целью статьи является разработка подхода к определению достаточного количества респондентов, предпочтения которых необходимо исследовать для построения модели вероятности выбора пути передвижения в МСГ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) найти зависимость предельной (абсолютной) погрешности коэффициентов функции полезности в генеральной совокупности;
- 2) определить доверительные интервалы для значений коэффициентов функции полезности в генеральной совокупности с заданной степенью надежности;
- 3) разработать математический аппарат для определения достаточного количества респондентов, выбор которых необходимо исследовать для построения модели вероятности выбора пути передвижения, с относительной погрешностью коэффициентов функции полезности не выше заданной.

Теоретические основы определения достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения

В работе [9] было показано, что наиболее эффективным подходом к моделированию выбора пассажиром пути передвижения в маршрутной системе города является применение регрессионного анализа для определения коэффициентов функции полезности выбранного пути. Как и в случае расчета среднего генеральной совокупности, важным остается определение предельной ошибки Δ , только уже не для среднего, а отдельно для каждого коэффициента регрессии Δ_{a_k} , поскольку в регрессионном анализе значение каждого из коэффициентов модели привносит свой вклад в значение результирующего признака, в данном случае – в значение привлекательности пути передвижения.

Также остается схожим и определение границ, в пределах которых для выборочных значений параметров лежат их истинные

значения (2), но опять же в случае регрессионного анализа эти границы необходимо определять для каждого коэффициента модели отдельно.

Аналитически процесс определения достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения может быть представлен следующим образом.

Коэффициенты функции полезности \hat{a}_k , характеризующие выбор пути передвижения в зависимости от m факторов, определяются с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [1, 10] на основании пробной выборки объема I_n . Тогда, по аналогии с [7, 8], границы, в пределах которых для выборочных значений коэффициентов \hat{a}_k лежат их истинные значения генеральной совокупности a_k в регрессионном анализе, представляются в виде

$$(\hat{a}_k - \Delta_{a_k}; \hat{a}_k + \Delta_{a_k}), \quad (5)$$

где \hat{a}_k – известные коэффициенты функции полезности, полученные с помощью регрессионного анализа на основании пробной выборки, $k = 0, 1, 2, \dots, m$ (нулевой фактор относится к свободному члену уравнения, т.е. значение этого фактора всегда равно 1); Δ_{a_k} – предельная (абсолютная) ошибка в определении коэффициентов генеральной совокупности a_k , выраженная как

$$\Delta_{a_k} = t_\alpha \cdot \mu_{\hat{a}_k}, \quad (6)$$

где t_α – радиус симметричного интервала относительно нуля (где α – вероятность попадания случайной величины с распределением Стьюдента при количестве степеней свободы $(I_n - m - 1)$ в симметричный интервал); I_n – общее количество альтернативных вариантов передвижения (количество уравнений), представляющее объем пробной выборки, $I_n \in J$ (где J – количество альтернативных вариантов передвижения, представляющее объем генеральной совокупности); $\mu_{\hat{a}_k}$ – величина среднеквадратической (стандартной) ошибки, определяемая по зависимости

$$\mu_{\hat{a}_k} = \hat{\sigma}_{I_n} \cdot S_k, \quad (7)$$

где $\hat{\sigma}_{I_n}$ – среднеквадратическое отклонение пробной выборки объема I_n ; S_k – стандартная ошибка k -го коэффициента функции полезности \hat{a}_k , полученная по МНК, рассчитывается по формуле

$$S_k = \sqrt{\bar{b}_k} / \sqrt{I_n}, \quad (8)$$

где \bar{b}_k – дисперсия оценки k -го параметра регрессии.

Интервал (5) показывает, что истинное значение неизвестного коэффициента генеральной совокупности a_k с вероятностью α попадает в область, определяющуюся заданной предельной ошибкой Δ_{a_k} [11]. Однако в ходе разработки данного подхода к определению достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения было сделано следующее заключение. Использование интервала (5) и обозначений к нему, аналогично [7, 8], позволяет записать условие знакопостоянства интервальных оценок коэффициентов регрессии пробной выборки вида

$$|\hat{a}_k| \geq \hat{t}_\alpha \cdot \hat{\sigma}_{I_n} \cdot \frac{\sqrt{\bar{b}_k}}{\sqrt{I_n}}, \quad (9)$$

откуда

$$J_{\text{зк}} \geq \max_{k=0,1,\dots,m} \left(\frac{\hat{t}_\alpha \cdot \hat{\sigma}_{I_n} \cdot \sqrt{\bar{b}_k}}{|\hat{a}_k|} \right)^2, \quad (10)$$

где $J_{\text{зк}}$ – количество уравнений, обеспечивающее постоянство знака всех коэффициентов регрессии с заданной вероятностью; \hat{t}_α – α -квантиль распределения Стьюдента с $(I_n - m - 1)$ степенями свободы для заданной доверительной вероятности.

Таким образом, условиями (9) и (10) определяется такое количество уравнений, которое является основанием для расчета минимального объема пробной выборки, т.е. такого объема, при котором можно получить заведомо значимые факторы модели регрессии.

Так, при всех значимых факторах условие (9) будет выполнено автоматически, и это будет

свидетельствовать о достаточном объеме пробной выборки и возможности продолжения ее использования в дальнейших целях исследования. В противоположном случае, когда все факторы в пробной выборке окажутся незначимыми, условие (9) выполняться не будет, и только тогда возникнет необходимость определения достаточного количества наблюдений (уравнений регрессии) для итоговой выборки. Из этого следует, что условие (10) является недостаточным для принятия решения о выборке, представляющей объем генеральной совокупности.

Поэтому для достижения поставленной цели было сделано допущение о том, что среднеарифметические величины выборочной совокупности в выражениях (6)–(8) обладают свойствами медленно меняющейся функции [12], а не являются константами, как в [7, 8]. Тогда, воспользовавшись обозначениями к (6)–(8), можно записать, что

$$\varphi_k(J) = \varphi_k(I_n) = \bar{b}_k \cdot \hat{\sigma}_{I_n}^2, \quad (11)$$

где $\varphi_k(J)$ – медленно меняющаяся функция при изменении J , т.е. при $J \rightarrow \infty$ $\frac{\varphi_k(rJ)}{\varphi_k(J)} \rightarrow 1, \forall r > 0$.

Из (11) следует, что величина среднеквадратической ошибки (7) также будет медленно меняться при $I_n \rightarrow \infty$

$$\mu_{\hat{a}_k} = \frac{\sqrt{\varphi_k(I_n)}}{\sqrt{I_n}}. \quad (12)$$

Тогда из выражений (12), (6) и (5) следует, что с заданной вероятностью α относительная погрешность коэффициентов генеральной совокупности, которую можно обозначить как β_{a_k} , не превзойдет соответствующей ей величины выборочной совокупности $\hat{\beta}_k$. А результатом выполнения данного условия и будет искомая величина, соответствующая достаточному количеству респондентов для моделирования выбора пути передвижения N

$$N = \max_{k=0,1,\dots,m} \left(\frac{\hat{\beta}_k}{\beta_{a_k}} \right)^2 \cdot n_n, \quad (13)$$

где N – конечное количество респондентов, выбор которых необходимо исследовать для построения модели выбора пути; n_n – количество респондентов, представляющих объем пробной выборки, $n_n \in N$; β_{a_k} – заданная исследователем относительная погрешность (ошибка) коэффициентов модели генеральной совокупности; $\hat{\beta}_k$ – относительная погрешность коэффициентов модели выборочной совокупности

$$\hat{\beta}_k = \frac{t_\alpha \cdot \mu_{\hat{a}_k}}{|\hat{a}_k|} = \frac{\Delta_{a_k}}{|\hat{a}_k|}. \quad (14)$$

Следует обратить внимание на то, что расчет по зависимости (13) производится отдельно для каждого из коэффициентов модели, а выбор достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения осуществляется по наибольшему полученному значению, предварительно округленному до целого в большую сторону.

Также следует отметить, что расчет величины N должен производиться отдельно для каждой модели полезности пути, по причине различных значений статистических параметров в используемых моделях.

Оценка достаточного количества респондентов для моделирования выбора пути передвижения

Для практической реализации разработанного способа определения достаточного количества респондентов, выбор которых необходимо исследовать при моделировании предпочтений пассажиров, была избрана линейная модель. С целью получения эмпирического материала в г. Харькове было проведено пилотное обследование, в ходе которого был опрошен 31 пассажир.

Полученная выборка представляет собой матрицу значений факторов размерностью 67×3 . Здесь 67 – это количество альтернатив передвижения, рассмотренных всеми респондентами из пробной выборки; 3 – количество факторов в модели выбора, в которые входят свободный член регрессии, продолжительность и стоимость поездки. Далее, в соответствии с представленным математическим аппаратом, были рассчитаны все показатели, необходимые для определения ко-

нечного количества респондентов, выбор которых необходимо исследовать (табл. 1).

Дополнительно адекватность (состоятельность) представленной линейной модели, полученной с использованием пробной вы-

борки, была проверена путем сравнения с простейшей, равновозможной моделью [13] и основных статистических показателей, рассчитываемых при использовании МНК (табл. 2).

Таблица 1 Сводная таблица расчета достаточного количества респондентов для построения линейной модели выбора пути передвижения

| Показатель | | Значение | Показатель | | Значение | |
|------------|---|-------------|------------|--|--|------|
| 1 | Объем пробной выборки, n_n | 31 | 8 | Оценка дисперсии пробной выборки, $\hat{\sigma}_{I_n}^2$ | 0,021 | |
| 2 | Количество факторов модели | 3 | 9 | α -квантиль распределения Стьюдента ($\alpha = \sqrt[3]{0,95}$), \hat{t}_α | 2,17 | |
| 3 | Количество степеней свободы, $I_n - m - 1$ | 64 | 10 | Количество уравнений, необходимое для выполнения условия знакопостоянства коэффициентов регрессии при 95 %-ной доверительной вероятности, $J_{зк}$ | 25 | |
| 4 | Количество альтернативных вариантов передвижения (уравнений регрессии), I_n | 67 | | | | |
| 5 | Дисперсии оценок параметров регрессии | \bar{b}_0 | 141,75 | 11 | α -квантиль распределения Стьюдента для симметричного интервала ($\alpha = \sqrt[3]{0,95}$), t_α | 2,45 |
| | | \bar{b}_1 | 292,05 | | | |
| | | \bar{b}_2 | 63,31 | | | |
| 6 | Коэффициенты функции полезности | a_0 | 2,56 | 12 | Заданная относительная погрешность коэффициентов модели генеральной совокупности, β_{a_k} | 0,3 |
| | | a_1 | -1,06 | | | |
| | | a_2 | -0,74 | | | |
| 7 | Значение суммы разностей квадратов, c_{\min}^2 | 1,315 | 13 | Достаточное количество респондентов для моделирования выбора пути передвижения, N | 164 | |

Таблица 2 Показатели адекватности построенной линейной модели выбора пути передвижения

| Показатель | | Значение по модели | |
|------------|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| | | линейной | равновозможной |
| 1 | Критерий Фишера | 93,07 | – |
| 2 | Коэффициент детерминации | 0,744 | – |
| 3 | Множественный коэффициент корреляции | 0,863 | – |
| 4 | Критерий адекватности s_N^2 | 4,862 | 21,235 |
| 5 | Количество степеней свободы | 33 | 35 |
| 6 | Вероятность критерия s_N^2 | 1,0 | 0,97 |

Основываясь на приведенных в табл. 1 и 2 результатах, можно утверждать, что, исходя из условия знакопостоянства (10), объем пробной выборки, с точки зрения МНК, является вполне достаточным для построения модели поведения пассажиров в маршрутной системе со значимыми на 95 %-м уровне коэффициентами. Однако незначительная по вероятности разница в прогностических способностях полученной модели, по сравнению с равновозможной моделью, диктует необходимость ужесточения требований к коэффициентам регрессии. Снижение относительной

погрешности коэффициентов модели выборочной совокупности приблизительно в три раза, т.е. при $\beta_{a_k} = 0,3$, в соответствии с представленной методикой, приводит к необходимости расширения выборки до 164 пассажиров, производящих выбор альтернативного пути.

Выводы

Существующие подходы к определению достаточного объема выборки при проведении выборочных обследований являются непри-

годными для случая обследования с целью построения модели расчета вероятности выбора пассажиром пути передвижения в МСГ с помощью регрессионного анализа. Однако они создают надежную основу для разработки новых методов определения достаточного объема выборки на основе коэффициентов регрессии.

Разработанный на этой основе подход позволяет проверить достаточность взятого объема пробной выборки и необходимость его расширения, опираясь на значимость полученных коэффициентов регрессии в функции полезности пути передвижения.

Использование предположения о том, что статистические характеристики среднеарифметических величин модели регрессии медленно меняются, позволило сделать заключение, что достаточное количество респондентов, обеспечивающее адекватное отображение генеральной совокупности, может быть определено через квадрат отношения относительной погрешности коэффициентов модели регрессии, полученной на основании выборочной совокупности, к заданной относительной погрешности этих же коэффициентов генеральной совокупности. При этом величина задаваемой относительной погрешности определяется целью исследования.

Литература

1. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 264 с.
2. Ben-Akiva M. and Lerman S. Some Estimation Results of a Simultaneous Model of Auto Ownership and Model Choice to Work // *Transportation*. – 1974. – Vol. 3. – P. 357–376.
3. Рогова Г.Л. Моделирование выбора путей передвижения пассажиров в транспортных системах городов: автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Транспортные системы городов и промышленных центров» / Г.Л. Рогова. – М., 1987. – 19 с.
4. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособ. для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1980. – 536 с.

5. Спиринов И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спиринов. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 480 с.
7. Венецкий И.Г. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе / И.Г. Венецкий, В.И. Венецкая. – М.: Статистика, 1974. – 280 с.
8. Ефимова М.Р. Практикум по общей теории статистики: учебное пособие / М.Р. Ефимова, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 280 с.
9. Горбачев П.Ф. Способы формирования модели выбора варианта трудового передвижения маршрутным транспортом / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, О.В. Свичинская // *Альманах современной науки и образования*. – 2013. – № 11 (78). – С. 47–58.
10. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы «Физматгиз», 1958. – 336 с.
11. Севастьянов Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики / Б.А. Севастьянов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
12. Гольдберг А.А. Интегральное представление монотонных медленно меняющихся функций / А.А. Гольдберг // *Известия вузов. Серия «Математика»*. – 1988. – №4. – С. 21–27.
13. Горбачев П.Ф. Подход к оценке адекватности моделей выбора пассажиром пути передвижения / П.Ф. Горбачев, А.В. Макаричев, О.В. Свичинская, А.А. Тропина // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. ст.* – 2013. – Вып. 60. – С. 27–33.

References

1. Voznesenskiy V.A. Statisticheskie metodyi planirovaniya eksperimenta v tehniko-ekonomicheskikh issledovaniyah. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1981. 264 p.
2. Ben-Akiva M. and Lerman S. Some estimation results of a simultaneous model of auto

- ownership and model choice to work. *Transportation*, 1974, vol. 3. pp. 357–376.
3. Rogova G.L. *Modelirovanie vyibora putey peredvizheniya passazhirov v transportnykh sistemakh gorodov*. Avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spets. 05.22.02 «Transportnyye sistemy gorodov i promyshlennyykh tsentrov». Moscow, 1987. 19 p.
 4. Efremov I.S., Kobozev V.M., Yudin V.A. *Teoriya gorodskikh passazhirskikh perevozk: ucheb. posob. dlya vuzov*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 536 p.
 5. Spirin I.V. *Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnyimi perevozkami: uchebnyy dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya*. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 400 p.
 6. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika*. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2003. 480 p.
 7. Venetskiy I.G., Venetskaya V.I. *Osnovnyye matematiko-statisticheskiye ponyatiya i formuly v ekonomicheskom analize*. Moscow, Statistika Publ., 1974. 280 p.
 8. Efimova M.R., Ganchenko O.I., Petrova E.V. *Praktikum po obshchey teorii statistiki: uchebnoye posobie*. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1999. 280 p.
 9. Gorbachev P.F., Makarichev A.V., Svichinskaya O.V. *Sposoby formirovaniya modeli vyibora varianta trudovogo peredvizheniya marshrutnyim transportom*. *Almanah sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2013, vol. 11 (78). pp. 47–58.
 10. Linnik Yu.V. *Metod naimenshih kvadratov i osnovy teorii obrabotki nablyudeniy*. Moscow, Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury Fizmatgiz Publ., 1958. 336 p.
 11. Sevastyanov B.A. *Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki*. Moscow, Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1982. 256 p.
 12. Goldberg A.A. *Integralnoye predstavlenie monotonnykh medlenno menyayushchisya funktsiy*. *Izvestiya vuzov. Seriya «Matematika»*, 1988, vol. 4. pp. 21–27.
 13. Gorbachev P.F., Makarichev A.V., Svichinskaya O.V., Tropina A.A. *Podhod k otsenke adekvatnosti modeley vyibora passazhirom puti peredvizheniya*. *Vestnik KhNADU: sb. nauch. tr.*, 2013, vol. 60. pp. 27–33.
- Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
- Статья поступила в редакцию 8 июля 2014 г.
-
-