

Доцент М.А. Карпович

(Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т) кафедра экономики и основ предпринимательства,  
тел. 271-54-00

## Методы количественного описания социальных последствий реализации проектов транспортной инфраструктуры

В статье рассмотрены методы количественной оценки позитивных и негативных последствий для населения строительства автомобильной дороги на прилегающей к населенному пункту территории. Население делится на группы с учетом географического, возрастного и гендерного распределения. Стоимостные параметры входят в целевую функцию в виде соотношения цена/отдача, а социальные, экологические факторы и риски – в виде безразмерных множителей и слагаемых.

The article deals with methods for quantifying the positive and negative consequences for the population of the construction of the road adjacent to the locality area. The population is divided into groups depending on the geographical, age and gender distribution. Cost parameters includes an objective function in the form of cost/efficiency. Social, environmental factors and risks - in the form of dimensionless factors and terms.

*Ключевые слова:* государственно-частное партнерство, оптимизация, функция социального влияния.

Реализация проектов транспортной инфраструктуры на принципах государственно-частного партнерства требует перемещения ресурсов из частного сектора в государственный [1]. Для определения целесообразности такого перемещения необходимо сравнить предельную общественную выгоду с дополнительными (предельными) общественными издержками, которые связаны с производством каждой дополнительной единицы общественного товара. Реализация проекта является оправданной лишь при положительной разности выгод и издержек, а оптимизация методов выполнения проекта требует максимизации указанной разности. Поскольку как выгоды, так и издержки имеют весьма разную форму (социально-экономическую, экологическую, медицинскую и др.) необходимо определение целевой функции (ЦФ) задачи, позволяющей учесть как положительные, так и отрицательные факторы строительства объекта транспортной инфраструктуры.

Поскольку параметры ЦФ имеют разную природу, их размерность также неодинакова. В то же время, постановка задачи оптимизации, в том числе и многокритериальной, требует формирования ЦФ, все слагаемые которой имеют одинаковую размерность. Эта задача в экономике решается различными

способами. В частности, возможно приведение всех параметров к всеобщему эквиваленту – деньгам. Однако при решении данной задачи получение денежного выражения для рисков, социальных и экологических результатов и потерь весьма сложно и представляет собой самостоятельную задачу, не имеющую однозначного решения [2]. Адекватным рассматриваемой задаче является альтернативный путь введения безразмерных характеристик объектов. При этом подходе стоимостные параметры входят в ЦФ в виде функции от соотношения цена/отдача, а социальные, экологические факторы и риски – в виде безразмерных множителей и (или) слагаемых. Именно такой подход и реализован в данной работе.

В частности, социальные последствия реализации проектов транспортной инфраструктуры приводят к увеличению подвижности населения, проживающего и/или работающего в зоне влияния данного объекта и, как следствие, увеличению доступности медицинских, образовательных, социальных, торговых и других услуг. С другой стороны, происходит также увеличение количества и улучшение качества доступных рабочих мест. В простейшем варианте количественное описание этих последствий может быть выполнено на основе данных о средней плотности населения в зоне влияния объекта дорожного хозяйства путем введения безразмерного социального коэффициента  $K_{соц}$ :

$$K_{соц} = \frac{\rho_{об} N_{мед}^П N_{обр}^П N_{торг}^П N_{спорт}^П N_{раб}^П Z^П}{\rho_{рег} N_{мед}^Д N_{обр}^Д N_{торг}^Д N_{спорт}^Д N_{раб}^Д Z^Д}, \quad (1)$$

где  $\rho_{об}, \rho_{рег}$  – средняя плотность населения в зоне влияния объекта транспортной инфраструктуры и региона строительства соответственно;  $N_{мед}^Д, N_{мед}^П$  – количество доступных населению медицинских учреждения до и после строительства объекта соответственно; индексы обр, торг, спорт, раб аналогичным образом описывают образовательные, торговые, спортивные объекты и количество рабочих мест соответственно; величины  $Z^Д, Z^П$  описывают среднюю зарплату на рабочих местах, доступных до и после введения объекта дорожного хозяйства.

Более точное описание социальных последствий строительства требует знания не только средней плотности населения, но и ее географического, возрастного и гендерного распределения. Связано это с тем, что различные группы населения имеют, во-первых, различные потребности. Так, например, потребность в медицинских учреждениях в нетрудоспособных возрастах значительно выше, чем в для жителей в работоспособном возрасте; потребность в образовательных и спортивных учреждениях максимальна в младших возрастных группах; роль размеров оплаты труда выше для мужской части населения. Кроме того, и зона влияния автодороги для лиц трудоспособного возраста больше, чем в нетрудоспособном. Учет этих особенностей различных групп населения, требующий значительных объемов статистической информации и использования более сложных алгоритмов целесообразен лишь при реализации масштабных проектов. При этом, поскольку затраты осуществляются, а прибыль получается за значительный промежуток времени необходимо их дисконтирование [3].

Количественно полезность участка автодороги можно оценить, используя следующие параметры: ЦС – отношение дисконтированной стоимости строительства участка к прогнозируемой суммарной стоимости перевезенных грузов и арендных платежей за использование полосы отвода за вычетом дисконтированной выгоды, получаемой за счет использования отводимого участка в год окончания строительства:

$$Ц_c = \frac{Ц \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)}{\sum_{i=1}^N C_i - B \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)}, \quad (2)$$

где Ц – стоимость строительства участка на момент сдачи дороги в эксплуатацию, N – глущина прогноза (при этом величина N не может превышать нормативного срока эксплуатации участка), индекс i нумерует год эксплуатации,  $\alpha$  – прогнозируемый уровень инфляции, С – прогнозируемая годовая стоимость перевезенных грузов. Для платных автодорог вместо стоимости перевезенных грузов естественно учитывать прогнозируемую годовую плату за проезд П, собираемую на данном участке. В этом случае формула (2) модифицируется следующим образом:

$$Ц_c = \frac{Ц \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)}{\sum_{i=1}^N P_i - B \cdot \prod_{i=1}^N (1 + \alpha_i)} \quad (3)$$

Наличие транспортных коммуникаций и придорожной инфраструктуры положительно сказываются на занятости и доходах населения, тяготеющего к рассматриваемому участку. Однако этим социальный эффект автодороги не исчерпывается. Автодорога повышает общую мобильность населения и доступность для него рабочих мест, в том числе и не связанных непосредственно с дорожной инфраструктурой. Также повышаются доступность медицинских, образовательных услуг и возможности развития личности. Вследствие этого дорожная структура является одной из составных частей общественного договора. Формула (1) не учитывает численность и плотность населения, мобильность которого повышается, вследствие чего не в полной мере описывают социальные характеристики участков автодорог. Все это требует отдельного учета в ЦФ социальных характеристик участков автодорог.

Очевидно, что социальные эффекты сказываются тем сильнее, чем ближе населенные пункты расположены к дороге. Они максимальны для населения, находящегося в зоне пешеходной доступности от участка дороги (по медицинским критериям – для населения в трудоспособном возрасте не более 3 км, для детей до 14 лет и лиц пенсионного возраста – не более 1 км). Вне зоны пешеходной доступности социальные эффекты затухают с ростом расстояния. Для расстояний, превышающих n кратное значение (например, n=5), социальным влиянием участка автодороги можно пренебречь. Простейшая функция социального влияния участка автодороги (ФСВ), удовлетворяющая указанным критериям, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 1, & x \leq x_0 \\
 f(x) &= \frac{n}{n-1} - \frac{x}{x_0(n-1)}, & x_0 \leq x \leq nx_0 \\
 f(x) &= 0, & x \geq nx_0
 \end{aligned} \quad (4)$$

График зависимости функции социального влияния от расстояния  $x$  приведен на рисунке 1.

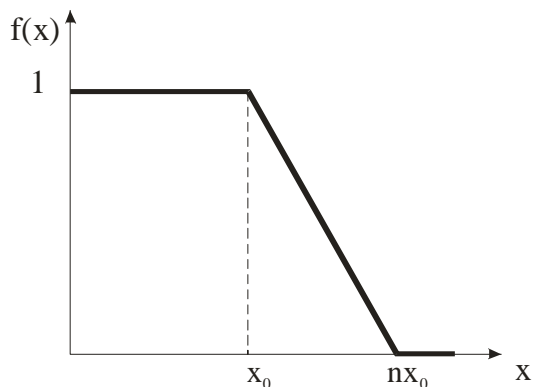


Рисунок 1 - Функция социального влияния участка автодороги

Наглядно степень социального влияния автодороги, соответствующая функции (4), изображена на рисунке 2. Степень черноты градиентной заливки пропорциональна значениям функции  $f(x)$ .

Параметр  $x_0$  совпадает с расстоянием пешеходной доступности лишь для населенных пунктов, не имеющих внутреннего общественного транспорта. При наличии обще-

ственного транспорта расстояние  $x_0$  определяется временем  $t_0$ , необходимым для достижения участка автодороги. Для  $t_0 > 2$  ч. социальным влиянием участка для большинства населения можно пренебречь. Лишь небольшая часть населения, в основном активно использующая личный транспорт, повысит свою мобильность. При наличии общественного транспорта внутри населенных пунктов, находящихся в сфере влияния участка автодороги ФСВ можно описывать функцией вида

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 1, & x \leq x_0 \\
 f(x) &= 2^{-a(x-x_0)} & x_0 \leq x
 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь параметр  $a$  обратно пропорционален средней скорости движения общественного транспорта с учетом времени его ожидания. С ростом средней скорости параметр  $a$  падает и область социального влияния автодороги растет. Так, например, при средней скорости  $V=10$  км/ч, параметр  $a$  можно положить равным  $a=0,15$  км<sup>-1</sup>. Тогда за 2 ч будет преодолеваться расстояние  $x_2=40$  км и, пренебрегая малым  $x_0$  по сравнению с  $x_2$ , получим:

$$f(x_2) = 2^{-0.15 \cdot 40} = 2^{-6} = 1/64.$$

Таким образом, в этом случае менее 2 % населения окажется в зоне влияния, превышающей  $x_2$ .

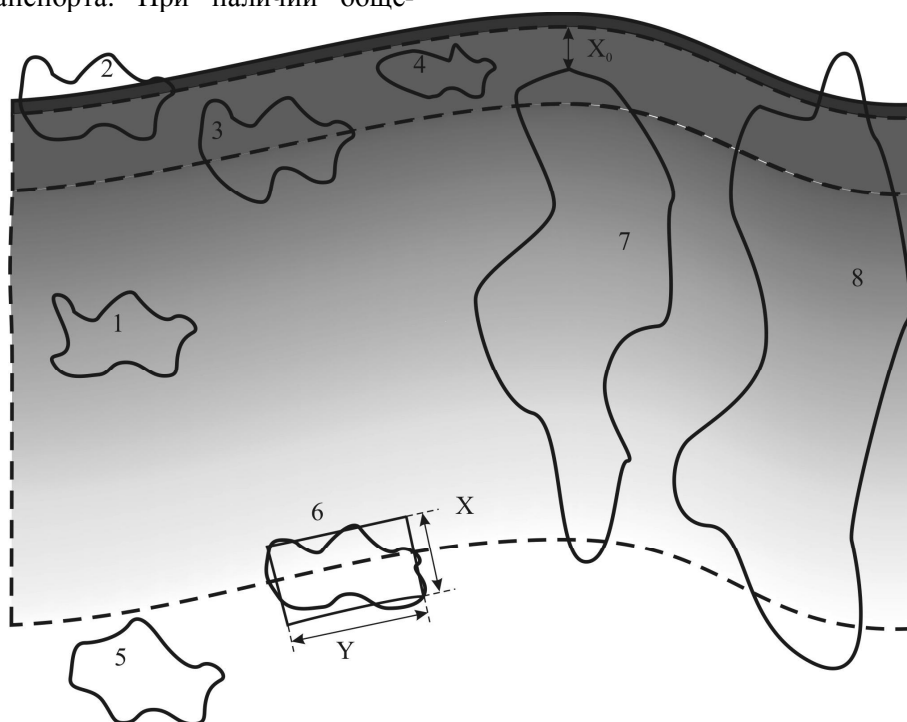


Рисунок 2 - Графическое представление степени социального влияния автодороги от расстояния  $x$

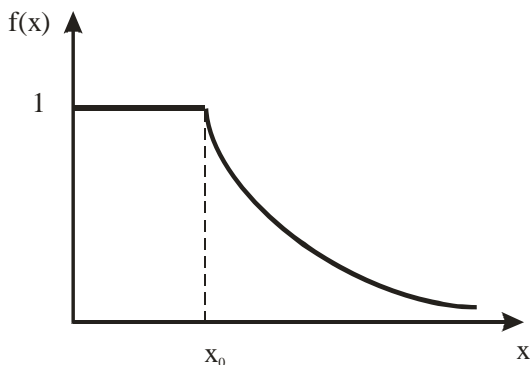


Рисунок 3 - Функция социального влияния участка автодороги при наличии маршрутов общественного транспорта

Функции (3) и (4) описывают социальное влияние автодороги на часть населения, не использующую личный транспорт. Для части населения, активно использующей личный транспорт, зона повышения мобильности значительно выше, чем зона пешеходной доступности и ФСВ медленнее спадает с ростом расстояния. При этом скорость уменьшения ФСВ обратна средней скорости личного транспорта на участке, соединяющем населенный пункт и автодорогу. Для этой части населения функция социального влияния является монотонной и, в простейшем случае, может быть представлена в виде:

$$f_1(x) = 2^{-bx} \quad (6)$$

График функции (6) представлен на рисунке (4). Полная ФСВ является суммой функций  $f(x)$  вида (3) или (4) и функций  $f_1(x)$  с весами, равными долям населения, не пользующегося и активно использующего личный транспорт соответственно:

$$f_{полн}(x) = d \cdot f(x) + (1 - d) \cdot f_1(x), \quad (7)$$

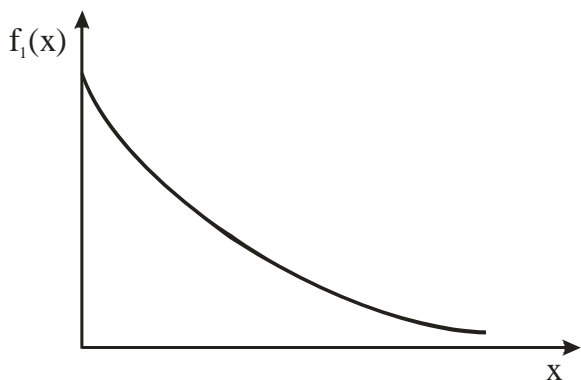


Рисунок 4 - Функция социального влияния участка автодороги для населения, активно использующего личный транспорт

Кроме ФСВ, общая численность населения, повышающего мобильность (ЧН), а, следовательно, и целевая функция зависят также и от распределения плотности населения  $\rho_p(x, y)$  в зоне влияния участка автодороги для расстояний  $x \leq n \cdot x_0$ . Здесь  $y$  – параллельная,  $x$  – перпендикулярная к оси дороги координата. В частности, для прямолинейных участков автодороги  $x$  и  $y$  совпадают с декартовыми координатами. В общем случае ЧН определяется интегрированием произведения ФСВ и плотности  $\rho_p(x, y)$  по площади населенного пункта:

$$ЧН = \iint_S f(x) \cdot \rho(x, y) dx dy, \quad (8)$$

Последовательный расчет ЧН по формуле (8) требует детальных демографических и топографических данных. На этапе обоснования инвестиций в большинстве случаев можно ограничиться усредненной моделью распределения населения. В этой модели вне пределов населенного пункта плотность населения считается равной нулю, а внутри поселения – постоянной. Топографически населенный пункт моделируется обобщенным прямоугольником с линейными размерами  $X$  и  $Y$ , минимальное расстояние от которого до автодороги равно  $X_0$  (рисунок 2). В этом приближении интегрирование по продольной и поперечной координате в формуле (8) выполняются независимо:

$$\begin{aligned} ЧН &= \rho_0 \int_{X_0}^{X_0+X} f_{полн}(x) dx \int_0^Y dy = \\ &= \rho_0 Y \int_{X_0}^{X_0+X} f_{полн}(x) dx \end{aligned} \quad (9)$$

здесь  $\rho_0$  – средняя плотность населения в границах населенного пункта.

Ответ выражается через элементарную функцию, конкретный вид которой определяется соотношением между параметрами  $X$ ,  $X_0$ ,  $x_0$  и видом ФСВ. Рассмотрим вначале населенные пункты, не имеющие маршрутов общественного транспорта, и население, не использующее личный транспорт.

Если все поселение находится в зоне пешеходной доступности участка автодороги (населенный пункт 4 на рисунке 2), что математически сводится к справедливости неравенств  $X_0 \leq x_0$ ,  $X_0 + X \leq x_0$ , значение подынтегральной функции равно единице на всем интервале интегрирования и, следовательно:

$$CH = \rho_0 Y \int_{x_0}^{X_0+X} f(x) dx = \rho_0 Y \int_{x_0}^{X_0+X} dx = \rho_0 Y X = \rho_0 S = N, \quad (10)$$

здесь  $S$  – площадь населенного пункта,  $N$  – общая численность населения.

В тривиальном случае для поселения, целиком лежащего за пределами зоны влияния дороги (населенный пункт 5) на всем множестве интегрирования значение функции  $f(x)$  равно нулю, вследствие чего нулевое значение принимает и функция ЧН. Если весь населен-

ный пункт находится в зоне влияния автодороги ( $X_0 + X \leq n \cdot x_0$ ), и часть поселения находится в зоне пешеходной доступности ( $X_0 \leq x_0$ ) (населенный пункт 3), значение подынтегральной функции отлично от нуля на всем интервале интегрирования, и выражение (7) приобретает вид:

$$CH = \rho_0 Y \left[ \int_{x_0}^{x_0} dx + \frac{1}{n-1} \int_{x_0}^{X_0+X} \left( n - \frac{x}{x_0} \right) dx \right] = \\ = \rho_0 Y \left[ x_0 - X_0 + \frac{n(X_0 + X - x_0)}{n-1} - \frac{(X_0 + X)^2 - x_0^2}{2x_0(n-1)} \right]. \quad (11)$$

Если весь населенный пункт находится в зоне влияния автодороги ( $X_0 + X \leq n \cdot x_0$ ) и отсутствует часть поселения, находящаяся в зоне пешеходной доступности ( $X_0 \geq x_0$ )

(населенный пункт 1), значения подынтегральной функции положительны и отличны от единицы на всем интервале интегрирования:

$$CH = \frac{\rho_0 Y}{n-1} \int_{x_0}^{X_0+X} \left( n - \frac{x}{x_0} \right) dx = \frac{\rho_0 Y}{n-1} \left[ n(X_0 + X - x_0) - \frac{(X_0 + X)^2 - x_0^2}{2} \right] = \\ \frac{\rho_0 Y (X_0 + X - x_0) (2n - X_0 - X - x_0)}{2(n-1)}. \quad (12)$$

Если лишь часть населенного пункта находится в зоне влияния автодороги ( $X_0 + X \geq n \cdot x_0$ ), и отсутствует часть поселения, находящаяся в зоне пешеходной доступности ( $X_0 \geq x_0$ ) (населенный пункт 6), верхний

предел интегрирования в выражении (8) определяется максимальным расстоянием влияния автодороги, а нижний – минимальным расстоянием от автодороги до поселения:

$$CH = \frac{\rho_0 Y}{n-1} \int_{x_0}^{nx_0} \left( n - \frac{x}{x_0} \right) dx = \frac{\rho_0 Y}{n-1} \left[ n(nx_0 - x_0) - \frac{(nx_0)^2 - x_0^2}{2} \right] = \\ \rho_0 Y \left( nx_0 - x_0^2 \frac{n+1}{2} \right) = \frac{\rho_0 Y x_0}{2} [2n - x_0(n+1)] \quad (13)$$

И, наконец, если лишь часть населенного пункт находится в зоне влияния автодороги ( $X_0 + X \geq n \cdot x_0$ ), и имеется часть поселения, находящаяся в зоне пешеходной доступ-

ности ( $X_0 \leq x_0$ ) (населенные пункты 7 и 8), выражение для ЧН содержит слагаемые, отражающие вклад как зоны пешеходной доступности, так и остальной зоны влияния:

$$CH = \rho_0 Y \left[ \int_{x_0}^{x_0} dx + \frac{1}{n-1} \int_{x_0}^{nx_0} \left( n - \frac{x}{x_0} \right) dx \right] = \rho_0 Y \left[ x_0 - X_0 + \frac{n^2 x_0}{n-1} - \frac{1}{2} x_0(n+1) \right]. \quad (14)$$

Поскольку значение параметра  $x_0$  для различных групп населения является различным, эффективное значение ЧН определяется суммированием частных его значений для населения в трудоспособном и нетрудоспособном возрасте с весами, определяемыми долями населения каждого из возрастов в данной местности:

$$CH_{\Sigma} = TP \cdot CH(x_0^{TP}) + (1 - TP) \cdot CH(x_0^{HTP}), \quad (15)$$

где  $TP$  – доля трудоспособного населения,  $x_0^{TP}$ ,  $x_0^{HTP}$  – расстояния пешеходной доступности для лиц трудоспособного и нетрудоспособного возраста соответственно.

Рассмотрим теперь населенные пункты, имеющие маршруты общественного транспор-

та. В этом случае расчет упрощается, так как параметр  $x_0$  одинаков для всех групп населения, нет необходимости проводить суммирование (15) и формула (14) непосредственно дает окончательный ответ. Кроме того, поскольку функция (5), в отличие от (3), имеет

$$CH_{внутр} = \rho_0 Y \int_{X_0}^{x_0} dx = \rho_0 Y (x_0 - X_0) = \rho_0 S_{внутр} = N_{внутр} \quad (16)$$

и

$$CH_{вне} = \rho_0 Y \int_{x_0}^{X_0} 2^{-ax} dx = \rho_0 Y \frac{2^{ax_0} \cdot (2^{-ax_0} - 2^{-aX_0})}{a \ln(2)}, \quad (17)$$

здесь введено обозначение  $N_{внутр}$  – численность населения данного пункта, проживающего в зоне  $x \leq x_0$ , и использован табличный интеграл:

$$\int 2^{-ax} dx = -\frac{2^{-ax}}{a \ln(2)} \quad (18)$$

Так, например, для населенного пункта 4 на рисунке 2, целиком расположенного в зоне  $x \leq x_0$ , расчет численности повышающего мобильность населения сводится к применению формулы (13); для населенных пунктов 1, 5, 6, целиком расположенных в зоне  $x > x_0$ , вычис-

$$CH = \rho_0 Y \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} 2^{-bx} dx = \rho_0 Y \frac{2^{ax_0} \cdot 2^{-ax_0}}{b \ln(2)} = \frac{\rho_0 Y (2^{bx_{\max}} - 2^{bx_{\min}})}{b \ln(2)}, \quad (19)$$

здесь  $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$  – просто минимальное и максимальное расстояние от дороги до границ населенного пункта, отсчитываемое вдоль внутренних дорог и улиц.

Для участков автодорог, проходящих через населенные пункты и делящих их на части (населенные пункты 2 и 8 на рисунке 2), общую формулу (8) и ее частные случаи необходимо применять для каждой из частей независимо и результаты суммировать. При некоторых топографических схемах расположения участков автодорог (например, для окружных дорог в окрестности небольших населенных пунктов) могут возникнуть зоны перекрытия различных значений функции влияния ФСВ. Реально перекрытие означает доступность для населения различных участков дороги. Наиболее естественным поведением в этом случае будет использование участка с максимальной доступностью. Математически этот факт отражается учетом лишь максимального значения функции ФСВ и отбрасывания минимального значения ФСВ. Общий метод, основанный на применении формулы (8), позволяет без труда определить значение ЧН и в этих случаях.

лишь две функционально отличающиеся области, реальный расчет численности повышающего мобильность населения сводится к разбиению населенного пункта, находящегося внутри и вне зоны  $x_0$ , и применению к каждой из областей следующих формул:

ление ЧН проводится по формуле (14); лишь для поселений 3, 7, 8 необходимо разбиение на части ( $x \leq x_0$  и  $x > x_0$  соответственно) и применению к каждой из них формул (12) и (15).

Проще всего расчет ЧН выполняется для части населения, активно использующего личный транспорт, что определяется простой выражения (6). В этом случае нет необходимости учитывать ни возрастную структуру населения, ни топографическое расположение населенного пункта. ЧН в любом случае определяется выражением:

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гутман, Г.В. Общественные блага в транзитивной экономике [Текст] / Г.В. Гутман, О.Б. Дигшина, О.П. Звягинцева. - М.: ООО «Маркет ДС Корпорейшн», 2004. - 120 с.
- 2 Институциональная экономика: новая институциональная экономическая теория [Текст]: учебник / под ред. А. А. Аузана. - М.: ИНФРА-М, 2005. - 317 с.
- 3 Аткинсон, Э.Б. Лекции по экономической теории государственного сектора [Текст]: учебник / Э.Б. Аткинсон, Дж.Э. Стиглиц. - М.: Аспект Пресс, 1995. - 832 с.

## REFERENCES

- 1 Gutman, G.V. Public goods in transitive economy [Text] / G.V. Gutman, O.B. Digshina, O.P. Zvyagintseva. - M.: LLC "Market DS Corporation", 2004. - 120 p.
- 2 Institutional Economics: A new institutional economics [Text]: textbook / ed. by A.A. Auzan. - M.: INFRA-M, 2005. - 317 p.
- 3 Atkinson, E.B. Lectures on the economic theory of public sector [Text]: textbook / E.B. Atkinson, J.E. Stiglitz. - M.: Aspect Press, 1995. - 832 p.