

Методика размещения объектов военной инфраструктуры двойного назначения и модель оптимизации размещения сети обслуживания

М.А. Бунин¹, В.В. Петров², В.А. Тищенко²

¹Военный институт научных исследований Военно-космической Краснознаменной академии имени А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

²Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург

Аннотация: В статье рассматривается методика размещения объектов военной инфраструктуры двойного назначения, включающая модель оптимизации размещения сети обслуживания в гарнизонах, где она уже сложилась, и вопрос заключается в ее реконструкции и расширении. Расчеты выполнены на примере обслуживания в военных городках. Для оптимизации размещения сети услуг принят критерий минимизации времени обслуживания.

Ключевые слова: гарнизонное обслуживание, сеть обслуживания, центр обслуживания, иерархия, гравитационная модель тяготения, теория центральных мест, товароборот, военный городок.

В военных городках наряду с обязательным обеспечением повседневной жизнедеятельности военнослужащих имеются контингенты членов их семей и обслуживающего гражданского персонала, для которых важна реализация всего спектра общественных услуг, предоставляемых жителям любого поселения для требуемого качества жизни.

В 2019 году под руководством главы военного ведомства генерала армии Шойгу С. К. состоялось заседание Коллегии Министерства обороны России, где был рассмотрен вопрос, связанный с состоянием и перспективами развития учреждений культуры Вооруженных сил [1].

Министр обороны напомнил, что в декабре 2018 года на расширенном заседании Коллегии Верховный Главнокомандующий Вооруженными силами дал указание обеспечить всестороннюю социальную поддержку военнослужащих и членов их семей. Для решения этой задачи планируется расширить сеть гарнизонных Домов офицеров. Их количество будет увеличено с 86 до 130 [1].

При этом не менее 30% из них станут новыми культурно-досуговыми центрами с самыми широкими возможностями. [1].

Проанализировав условия развития военной инфраструктуры двойного назначения на многочисленных материалах, касающихся состояния науки в сфере общественных услуг гарнизонов, роль и место гарнизона в обеспечении боевой мощи военной силы, а также значение гарнизонного обслуживания в обеспечении боеготовности, установлено, что военная наука и теория военно-строительного комплекса практически оставили вне поля своего внимания вопросы развития системы гарнизонного обслуживания, что в значительной мере снижает уровень качества жизни в военных городках, и эффективность реформирования ВС РФ. Анализ показал, что научно-практическая методика проектирования и размещения объектов военной инфраструктуры двойного назначения в гарнизонах отсутствует.

В данной статье рассматривается разработанная комплексная методика размещения объектов военной инфраструктуры двойного назначения, включающая экспертную оценку размещения многофункциональных комплексов двойного назначения [2], моделирование оптимальной сети гарнизонного обслуживания, районирование и синтез оптимальной сети обслуживания на территории военного округа и модель оптимизации существующей сети обслуживания в гарнизоне. Использование представленных методов в объединенной особой комплексной методике позволяет усилить достоинства каждого и применять её во всех условиях, как в существующей застройке, так и при новом строительстве военных городков.

В данной статье подробно рассмотрим одну из составляющих методики – модель оптимизации существующей сети обслуживания в гарнизоне.

Как известно, В. Кристаллер при построении гипотетической сети обслуживания исходил из положения, что имеется четко выраженная граница

между зонами влияния каждого из центров обслуживания. В статье была предложена модель и алгоритм для оптимизации сети обслуживания для реальных условий в гарнизонах при предположении о существовании границ зон влияния центров обслуживания [3].

Будем считать, что тяготение потребителя к центру обслуживания является убывающей функцией от расстояния. Подобная гипотеза, как известно, лежит в основе гравитационных моделей тяготения [4].

Предлагается метод, позволяющий оценить параметры гравитационной модели без трудоемкого этапа сбора исходной информации о тяготении потребителей к центрам обслуживания. Обычно это осуществляется с помощью анкетирования потребителей, что требует значительных затрат времени и средств. Затем полученные результаты обрабатываются одним из методов оценки параметров регрессии, например методом наименьших квадратов. По новой методике анкетное обследование можно заменить расчетами на ЭВМ [5]. Исходными данными служат имеющиеся в статистических органах показатели оборота центров обслуживания и численности военных городков.

Суть способа заключается в следующем. Аналогично тому как это делается в регрессионном анализе, предполагается форма связи, описываемая гравитационной моделью с неизвестными параметрами, но последние оцениваются не с помощью решения системы нормальных уравнений, а путем непосредственного выбора по специальному алгоритму (см. ниже). При этом одна группа данных (численность поселений или городских кварталов) используется в процессе перебора параметров, а другая (предприятия обслуживания) служит для контроля и выбора наилучших параметров. Таким образом, считается, что зоны обслуживания различных центров пересекаются друг с другом.

Можно сделать различные предположения о типе кривой $y = f(r)$. Наиболее близки к реальности, по-видимому, будут кривые вида $y_{ij} = ar^{b_{ij}}$ или

$$y_{ij} = ar^2_{ij} + br_{ij} + c \quad (1)$$

где y_{ij} — доля жителей j -го квартала, посещающих i -е предприятие торговли; r_{ij} — расстояние между предприятием i и кварталом j .

Параметры уравнения определяются обычно методом наименьших квадратов. Однако статистическая база для формирования системы нормальных уравнений здесь отсутствует, и получение данных о потоках покупателей связано со значительными затратами на проведение выборочных обследований. Косвенный метод определения параметров уравнений заключается в переборе различных значений параметров с помощью ЭВМ и выборе из них значений, минимизирующих некоторую функцию.

Можно считать, что при $r = 0$, $y = 1$ в ближайшей окрестности центра обслуживания все покупатели пользуются его услугами.

При некотором предельном радиусе $r = R$, $y = 0$, т. е. допускается, что существует такое предельное расстояние, при котором жители квартала j перестают пользоваться услугами центра обслуживания i .

И наконец, при $r = \frac{R}{2}$, $y = \alpha$, где α — коэффициент отсева, т. е. доля покупателей, пользующихся услугами данного центра обслуживания при данном расстоянии.

Пусть R и α заданы. Тогда при условии $r = 0$, $y = 1$ следует, что $c = 1$, а при условии $r = R$, $y = 0$ следует, что $aR^2 + bR + c = 0$; наконец, при условии $r = \frac{R}{2}$, $y = \alpha$ получаем $a \frac{R^2}{4} + b \frac{R}{2} + c = \alpha$.

Используя эти соотношения, можно выразить параметры уравнения (1) через R и α :

$$c = 1; b = \frac{4\alpha - 3R}{R}; a = \frac{2 - 4\alpha}{R^2},$$

а уравнение примет следующий вид:

$$y = \frac{2 - 4\alpha}{R^2} r^2 + \frac{4\alpha - 3R}{R} r + 1.$$

На рисунке 1 показаны кривые вида (1) при различных значениях α .

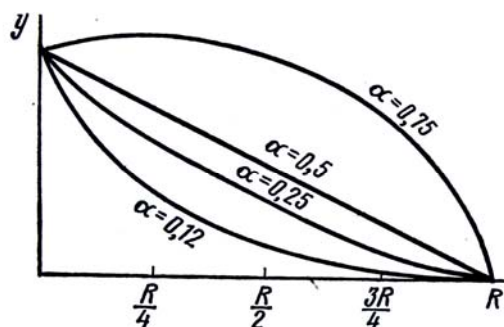


Рис. 1. – Зависимость частоты посещения торговых центров от расстояния

Использование кривой вида (1) в данной модели равнозначно предположению о том, что население в любом районе военного городка может обслуживаться различными центрами с вероятностью, зависящей от расстояния от данного пункта до центра. Это означает, что детерминированный подход к построению иерархии обслуживания здесь заменяется подходом стохастическим.

На рисунке 2 даны границы зон обслуживания при равномерном расселении для трех центров исходя из гипотезы Кристаллера (а) и показана картина распределения вероятностей посещения тех же центров обслуживания при стохастическом подходе к анализу сети обслуживания (б).

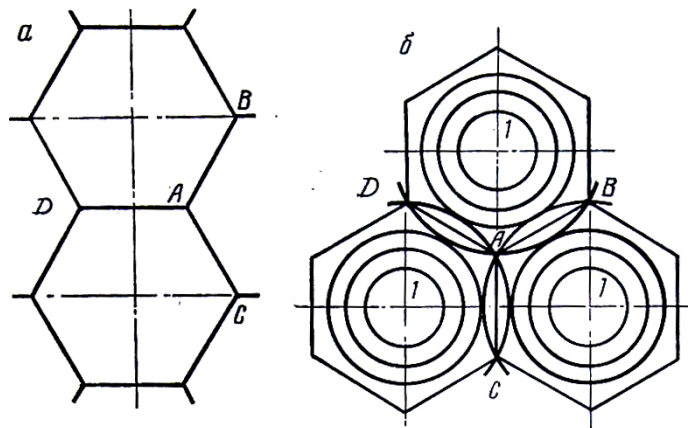


Рис. 2. – Зоны влияния центральных мест

а – частота спроса не зависит от расстояния;

б – частота спроса зависит от расстояния.

AB , AD и AC – линии равных вероятностей посещения центров обслуживания. В точке A вероятности посещения любого из трех центров равны. Разумеется, различные плотности населения и расположения торговых центров нарушают эту картину.

Стохастическая интерпретация теории центральных мест позволяет, по-видимому, лучше объяснить образование правильной решетки расположения торговых центров.

«Замощение» территории правильными шестиугольниками для центров одного района – оптимальное решение с точки зрения потребителя. Время, затрачиваемое на обслуживание в этом случае, минимизируется [5].

Для обслуживающих центров точки их размещения являются седловыми точками игры с нулевой суммой. На простом примере можно показать, что при детерминированном доходе обслуживающие центры не разместятся оптимально.

Одной из задач была разработка метода, позволяющего на конкретном статистическом материале проверить гипотезу о стохастическом характере

иерархии центральных мест и оценить параметры функции $f(r)$ [6].
Исследование велось по Псковскому гарнизону.

Введем следующие обозначения:

T_j^q – товарооборот, создаваемый кварталом j по группе товаров q ; $j = 1, 2, \dots, m$;

P_j – численность населения j -го квартала;

k_q – средний товарооборот по группе товаров q на одного жителя:

$$k_q = \frac{\sum_j T_j^q}{\sum_j P_j};$$

T_i^q – товарооборот торгового центра i по группе товаров q ;

$i = 1, 2, \dots, n$;

T_{ij}^q – товарооборот, создаваемый кварталом j в торговом центре i по группе товаров q ;

r_{ij} – расстояние между i и j ;

g_i – коэффициент пропорциональности.

Учитывая, что $\sum_j T_j^q = \sum_i T_i^q$, k_q определяется по формуле:

$$k_q = \frac{\sum_j T_{ij}^q}{\sum_j P_j}.$$

Все дальнейшие расчеты велись отдельно по каждой группе товаров, поэтому для упрощения формул индекс q будем иногда опускать.

Итак, если предполагается, что зависимость $f(r)$ выражается формулой:

$$y = ar^2 + br + 1,$$

то для каждого квартала i по данной группе товаров можно записать следующую систему уравнений:

$$T_{ij} = (1 + ar_{ij}^2 + br_{ij})g_j P_j. \quad (2)$$

Кроме того, должно соблюдаться условие $T_j = \sum_i T_{ij}$. При использовании величины k_q данное условие примет вид:

$$kP_j = \sum_i T_{ij} \quad (3)$$

Просуммировав все уравнения (2) и введя обозначение $1 + ar^2_{ij} + br_{ij} = d_{ij}$, получим:

$$\sum_i T_{ij} = g_j P_j \sum d_{ij},$$

откуда находим:

$$g_j = \frac{\sum_i T_{ij}}{\sum_i P_j}.$$

Учитывая равенство (3) и сократив P_j в числителе и знаменателе, получим:

$$g_j = \frac{k}{\sum_i d_{ij}}. \quad (4)$$

Подставив равенство (4) во все уравнения (2), найдем выражения для каждой из величин T_{ij} :

$$T_{ij} = kP_i \frac{d_{ij}}{\sum_i d_{ij}}.$$

После решения m таких систем найдем все T_{ij} и все $T_i = \sum T_{ij}$

Для нахождения параметров α и R , наилучшим образом отражающих связь между товарооборотом и расстоянием [7], перебирались различные значения этих коэффициентов, и для каждой пары α и R рассчитывались отклонения фактических товарооборотов центров обслуживания от расчетных $T_i - \hat{T}_i$, и величина σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (T_i - \hat{T}_i)^2}{n}}.$$

В качестве критерия использовалось корреляционное отношение:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sigma^2 n}{\sum_i (T_i - \bar{T}_{cp})^2}},$$

где \hat{T}_i – фактический товарооборот i -го центра обслуживания;

\hat{T}_{cp_i} – среднее значение фактического товарооборота.

Алгоритм расчета представлен на следующем примере. На рисунке 3 приведена схема взаимного расположения городских кварталов и центров обслуживания. На ребрах проставлены расстояния r_{ij} .

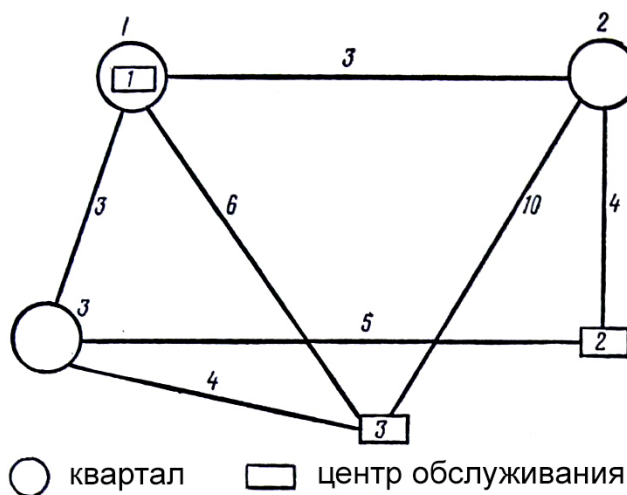


Рис. 3. Взаимное расположение кварталов и центров обслуживания

Пусть предполагается, что предельный радиус обслуживания $R = 10$ и $\alpha = 0,25$. Для расчетов используем таблицу №1.

Таблица № 1

Распределение товарооборота каждого квартала между торговыми центрами

$i \backslash j$	P_i	1	2	3	$\sum_i d_{ij}$	g_j	$g_j P_i$	1	2	3
1	20	1,00	0,09	0,36	1,45	0,7	14,0	14,0	1,26	4,84
2	10	0,49	0,36	0,00	0,85	1,2	12,0	5,78	4,22	0,00
3	10	0,49	0,25	0,49	1,23	0,8	8,0	3,92	2,16	3,92
						T_i	23,80	5,58		
						\hat{T}_i	25,80	5,08	8,86	Σ
						$(T_i - \hat{T}_i)^2$	4	0,25	0,01	4,251

В самом правом столбце таблицы проставлена численность населения кварталов, в строке T_i — фактические товарооборота торговых центров; k принят равным 1. В первую очередь заполняется левая часть таблицы; на пересечении строки района j и столбца центра i проставляется величина d_{ij} , рассчитываемая по формуле:

$$d_{ij} = \frac{2-4\alpha}{R^2} r_{ij}^2 + \frac{4\alpha-3}{R} r_{ij} + 1.$$

Например, на пересечении строки 2 и столбца 2 стоит число:

$$0,36 = \frac{2-4 \times 0,25}{10^2} 3^2 + \frac{4 \times 0,25 - 3}{10} 3 + 1.$$

Далее, суммируя цифры столбцов 1—3, рассчитываем элементы столбца $\sum_i d_{ij}$. Элементы столбца g_j получаем по формуле:

$$g_j = \frac{k}{\sum_i d_{ij}}$$

Каждый элемент $g_i P_j$ получается путем умножения величины g_j на численность населения соответствующих кварталов. Каждый элемент правой части таблицы рассчитывается как произведение величины $g_j P_j$ на соответствующий элемент левой части таблицы. Здесь по строкам показано распределение товарооборота каждого квартала между торговыми центрами, а по столбцам — распределение товарооборота торговых центров по кварталам. Сумма каждой строки должна равняться товарообороту данного квартала $T_j = k P_j$, сумма каждого столбца — товарообороту каждого торгового центра при данной гипотезе о α и R .

Значения σ и η в этом примере свидетельствуют о соответствии выдвинутой гипотезы фактическим данным.

Разумеется, для большого числа товарных групп, центров обслуживания и кварталов процесс проверки даже одной гипотезы для каждой товарной группы является чрезвычайно трудоемким. Для проведения соответствующих расчетов нами была составлена программа для ЭВМ.



Расчеты проводились по Псковскому гарнизону по 12 товарным группам (7 продовольственных товаров и 5 промышленных товаров) и 120 центрам обслуживания. Было выделено около 200 городских кварталов. По каждому торговому центру задавались его фактический товарооборот по данной товарной группе и координаты в прямоугольной системе в условных единицах. По кварталу задавались численность его населения и координаты. Сетка координат делила территорию на 10 000 частей (100×100). Максимальное расстояние в пределах города было равно примерно 120 единицам длины. Для каждой товарной группы перебирались значения предельных радиусов от 3 до 100 с шагом 1 и для каждого из них, а от 0,05 до 0,07 с шагом 0,05. Для каждой пары значений α и R вычислялось a и η . Таким образом, всего было сделано примерно 13 000 расчетов.

В таблице №2 приведены результаты расчета по товарным группам. Нумерация товарных групп составлена таким образом, что меньший номер имеют товары с большим спросом. Здесь в 3-й колонке показано оптимальное значение η , а в 1-й и 2-й колонках – соответствующие ему значения α и R .

Таблица № 2

Результаты расчета по товарным группам

Группы	Предельный радиус	Коэффициент отсева	Корреляционное отношение
	R	α	η
1	15	0,24	0,87
2	19	0,30	0,87
3	15	0,35	0,89
4	21	0,30	0,85
5	23	0,35	0,94
6	23	0,40	0,93
7	28	0,45	0,88
8	34	0,45	0,87
9	39	0,40	0,95
10	42	0,50	0,87
11	42	0,55	0,90
12	51	0,65	0,94

Значения, приведенные в данной таблице, показывают четкую закономерность, заключающуюся в том, что с ростом квалификации товарной группы растет предельный радиус обслуживания и коэффициент отсева.

Таким образом, менее квалифицированное обслуживание скорее соответствует постулату о том, что потребитель ориентируется на ближайший центр обслуживания. На графике показан характер кривых распределения вероятностей обслуживания данного потребителя в зависимости от расстояния до центра (рис. 4).

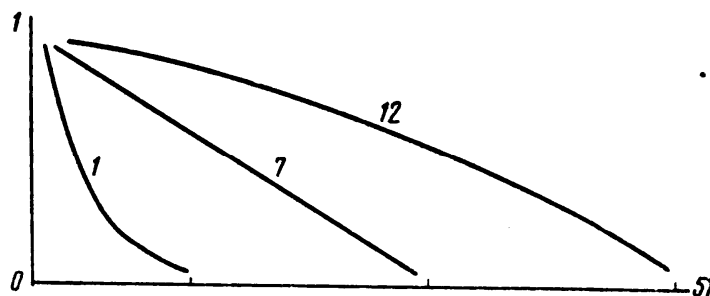


Рис. 4. – Зависимость частоты спроса от расстояния для различных групп товаров

Полученные зависимости могут быть использованы при планировании размещения центров обслуживания. В этом случае алгоритм, изложенный ранее, изменяется следующим образом. Для каждой возможной точки размещения центра обслуживания просчитывается товарооборот с учетом уже существующих центров. Точка с максимальным товарооборотом включается в план. Далее снова просчитываются все возможные точки размещения, но уже с учетом вошедшего в план центра и т. д. На каждом этапе определяется влияние нового центра на существующие и определяется изменение их товарооборота. Через определенное число шагов вычисляется суммарное время, затрачиваемое потребителями на обслуживание, и необходимые капиталовложения. По этим точкам строятся функции, необходимые для модели. По результатам решения модели определяется оптимальное число центров различных рангов.

Поскольку почти любая точка в гарнизоне может быть использована для размещения центров обслуживания, то за возможные точки размещения принимались узлы сетки 100×100 , положенной на план гарнизона.

По результату решения модели товарные группы с высокой частотой спроса располагались обычно в тех же точках, где и товарные группы с более низкой частотой. Таким образом, предпосылка о вероятностном характере спроса создает определенную иерархию центров обслуживания, так же, как и предпосылка о детерминированном спросе [8]. О порядке иерархии довольно трудно судить, так как на размещение новых центров оказывает значительное влияние уже сложившаяся сеть, имеющая в своем составе много специализированных предприятий обслуживания [9].

Результаты исследования и внедряемая методика и новые МФК, обеспечивают положительный военный эффект через боеготовность этого

объекта за счет создания и поддержания на объекте условий для отдыха, восстановления работоспособности, улучшения здоровья и других важных жизненных функций штатного контингента военнослужащих и гражданского персонала воинских частей [10].

Оценивая факторы защищенности, боеготовности и живучести от практического применения полученной в исследовании методики установлен факт проявления военного эффекта.

Доказана социальная и техническая эффективность применения новой методики размещения объектов военной инфраструктуры двойного назначения.

Литература

1. Интернет-портал Минобороны России: В Москве состоялось заседание Коллегии Министерства обороны России. URL: syria.mil.ru/news/more.htm?id=12223247@egNews.
2. Абсаламов А.Э., Мухин В.И., Петров В.В., Яковишин Н.Д. Экспертная оценка размещения многофункциональных комплексов двойного назначения // Инженерный вестник Дона, 2019, №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6032.
3. Петров В.В. Сетецентрический метод организации гарнизонного обслуживания // Межведомственная военно-историческая конференция «Выдающийся организатор материально-технического (тылового) обеспечения». СПб.: ВАМТО, 2017. С. 143-151.
4. Бунге В. Теоретическая география. М.: Прогресс, 1967. – 281 с.
5. Матлин И.С. Анализ системы обслуживания // Вопросы географии. Сборник статей. № 91. М.: Мысль, 1972. 254 с.
6. Матлин И.С. Модели оптимальной организации сети обслуживания // Вопросы географии. Сборник статей. № 77. М.: Мысль, 1968. 208 с.
7. Zeithaml V, A., Parasuraman A., Berry L., L. Problem and Strategies in Services Marketing [Text] // Jurnal of Marketing. 1985. № 49. pp. 33-36.



8. The World Bank. International for reconstruction and development international development association bank [electronic source] // http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2002/07/19/000178830_98101903575811/Rendered/PDF/multi0page.pdf
9. Демидова Л.С. Сфера услуг в постиндустриальной экономике // *Мировая экономика и международные отношения*. 1999. № 2. С. 2-32.
10. Бунин М.А., Мухин А.В., Мухин В.И., Петров В.В. Гарнизонное обслуживание как составляющая боеготовности и боеспособности / *Инженерный вестник Дона*. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4551.

References

1. Internet-portal Minoborony Rossii: V Moskve sostoyalos' zasedaniye Kollegii Ministerstva oborony Rossii. [Internet portal of the Russian Ministry of Defense: A meeting of the Board of the Russian Ministry of Defense took place in Moscow]. URL: syria.mil.ru/news/more.htm?id=12223247@egNews. (accessed 12/05/19)
 2. Absalamov A.E., Mukhin V.I., Petrov V.V., YAKovishin N.D. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019, №7 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6032.
 3. Petrov V.V. *Mezhvedomstvennaya voyenno-istoricheskaya konferentsiya «Vydayushchiysya organizator material'no-tekhnicheskogo (tylovogo) obespecheniya» (Interdepartmental Military-Historical Conference "Outstanding Organizer of Logistics (Logistics) Support")* SPb, VAMTO, 2017. pp. 143-151.
 4. Bunge V. *Teoreticheskaya geografiya [Theoretical geography]* M.: Progress, 1967. 281 p.
 5. Matlin I.S. *Analiz sistemy obsluzhivaniya. Voprosy geografii. [Service system analysis. Geography issues.]* № 91. M.: Mysl', 1972. 254 p.
 6. Matlin I.S. *Modeli optimal'noy organizatsii seti obsluzhivaniya. // Voprosy geografii. [Optimal Service Networking Models]* № 77. M.: Mysl', 1968. 208 p.
 7. Zeithaml V.A., Parasuraman A., Berry L.L. *Problem and Strategies in Services Marketing // Journal of Marketing*. 1985. № 49. pp. 33-36.
 8. The World Bank. International for reconstruction and development international development association bank [electronic source] // wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2002/07/19/000178830_98101903575811/Rendered/PDF/multi0page.pdf
-



9. Demidova L.S. Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnyye otnosheniya. 1999. № 2. pp. 2-32.
10. Bunin M.A., Mukhin A.V., Mukhin V.I., Petrov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4551.