

ОЦЕНКА И ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ АВТОСТОЯНОК СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА

А. В. Макаров, А. А. Васильченко, Д. В. Ивасик

Макаров Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация; e-mail: pr.makarov@mail.ru;

Васильченко Анжелика Алексеевна, старший преподаватель кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (903) 370-03-29; e-mail: t766om@gmail.com;

Ивасик Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (903) 370-03-24; e-mail: jvc777@inbox.ru

Современные города сталкиваются с проблемой рационального использования городской территории. Ежегодно увеличивающийся парк личных автомобилей ставит задачи по проектированию и строительству автостоянок в жилой зоне, непосредственно в зоне взаимодействия дворовых территорий. В статье исследуются такие взаимодействия элементов городской инфраструктуры, их корреляционные связи с помощью методик математического анализа. Полученные результаты позволят улучшить доступность парковок и эффективность их использования. Анализ результатов исследований позволит получать новые проектные решения.

Ключевые слова: внутриведовая территория, загруженность автостоянок, зона влияния автостоянки, математический анализ, корреляционная связь, линейный коэффициент корреляции.

ASSESSMENT AND STUDY OF THE CONGESTION OF PARKING LOTS IN THE RESIDENTIAL AREA OF THE CITY

A. V. Makarov, A. A. Vasilchenko, D. V. Ivasik

Makarov Aleksandr Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction and Operation of Transport Facilities Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (917) 833-45-60, e-mail: pr.makarov@mail.ru;

Vasilchenko Anzhelika Alekseyevna, Senior Lecturer of Construction and Operation of Transport Facilities Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (903) 370-03-29; e-mail: t766om@gmail.com;

Ivasik Dmitry Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Construction and Operation of Transport Facilities Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (903) 370-03-24; e-mail: jvc777@inbox.ru

Modern cities face the problem of rational use of urban territory. The annually increasing fleet of private cars sets tasks for the design and construction of parking lots in the residential area, directly in the area of interaction of courtyard territories. The article examines such interactions of urban infrastructure elements and their correlations using mathematical analysis techniques. The results obtained will improve the accessibility of parking lots and the efficiency of their use. The analysis of the research results will allow us to obtain new design solutions.

Keywords: courtyard area, parking congestion, parking impact zone, mathematical analysis, correlation relationship, linear correlation coefficient.

Введение

Современные города перегружены автомобильным транспортом. С каждым годом растет парк личных автомобилей горожан. Не редкость, когда в семье имеется два автомобиля, а иногда и больше. Этот автопарк необходимо обслуживать: ремонтировать, заправлять, мыть и самое важное где-то хранить. Гаражные кооперативы не могут справиться с огромным количеством машин, и содержание личного транспорта в гаражах давно стало необязательным и неудобным. Горожане хотят иметь машину в шаговой доступности, «под рукой». А это создает неудобство самим жителям города, создавая конкуренцию человека

с автомобилем [1]. Дворы, проезды, газоны, а зачастую детские площадки становятся временной стоянкой автомобилей. Для решения этого вопроса в городах власти создают организованные парковки, платные и бесплатные, вблизи жилых зон, а также у социально значимых объектов: крупных торговых, развлекательных центров, объектов культуры и других мест концентрации людей и личного транспорта [2]. При отсутствии организованных автостоянок автомобили паркуют в ближайших дворах (рис. 1, а) и крайних полосах автомобильных дорог (рис. 1, б), что уменьшает пропускную способность улиц, способствует образованию пробок и создает дополнительное загрязнение воздуха выхлопными газами [3–5].



а)



б)

Рис. 1. Парковка:

а – на внутридворовых территориях, б – на крайних полосах автодороги (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Parking:

а – in courtyard areas, б – parking in the outer lanes of the highway (illustration by the authors)

Наиболее сложной задачей является проблема разгрузки внутридворовых территорий [6, 7]. В рабочее время центры притяжения могут оказывать большое влияние на загруженность дорог, проездов, близлежащих автостоянок и внутри-

дворовую территорию (рис. 2.). Наличие оборудованной охраняемой автостоянки в непосредственной близости жилого массива не освобождает дворовые территории от оставленных автомобилей. Все вышесказанное делает тему исследования весьма актуальной для наших городов.



Рис. 2. Загрузка автостоянки в городе

(источник: <https://ru.pinterest.com/pin/575475658627584990/>)

Fig. 2. Loading the parking lot in the city

(source: <https://ru.pinterest.com/pin/575475658627584990/>)

Цель и задачи исследования

Для оптимального расходования денежных средств и выделения нужных площадей городской территории необходимо определять потребность в парковочных местах в каждом конкретном случае. Выяснение зависимости показателей емкости автостоянок с внутридворовым и уличным паркованием позволит определить корреляционные связи этих показателей.

Формулы и определения

Корреляционной связью [8] называют изменчивость одного признака, которая находится в соответствии с изменчивостью другого. Для вычисления данных связей значения разделяют результативный показатель y и признак-фактор x , которые именуются парной связью [9].

Оценка и изучение корреляционных связей приводят к постановке следующих задач:

- обнаружение корреляционной связи между указанными признаками;
- корреляционный анализ тесноты связи между признаками, которая может быть определена статистическими коэффициентами;
- получение уравнения регрессии, регрессионный анализ математической модели, в которой среднее значение результативного признака y является функцией одной или нескольких переменных – факторных признаков x .

Корреляционная связь двух величин определяется тем, насколько вариация результативного признака обусловлена вариацией факторного признака. Теснота связи характеризуется

следующими коэффициентами математической статистики: корреляцией рангов, конкордацией, а также эмпирическим и теоретическим корреляционным отношением и линейным коэффициентом корреляции.

Важным инструментом, определяющим степень зависимости двух переменных x и y в статистике, является линейный коэффициент корреляции r . Он учитывает как знаки отклонений переменных от средних значений, так и величину этих отклонений. Здесь можно получить более полное представление о взаимосвязях между переменными.

Коэффициенты доверия t_x и t_y определяются следующими выражениями:

$$t_x = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \quad \text{и} \quad t_y = \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y}. \quad (1)$$

Тогда r линейный коэффициент корреляции рассматривается как произведение коэффициентов доверия нормированных отклонений для x и y отнесенных к количеству опытов:

$$r = \frac{\sum \left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \right) \left(\frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} \right)}{n}, \quad \text{или} \quad r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}. \quad (2)$$

Произведение числителей формул (1), деленное на n – количество опытов, то есть $\frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} = \overline{(x - \bar{x})(y - \bar{y})}$, является ковариацией – средним произведением отклонений значений двух признаков от их средних.

Сам линейный коэффициент корреляции – это частное значение от деления ковариации между x и y на произведение их средних квадратических отклонений. Преобразуем коэффициент r к следующему виду:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}. \quad (3)$$

Анализируя выражение (3), заметим, если $\overline{xy} > \bar{x}\bar{y}$, то r будет положительный, что характеризует прямую зависимость между x и y , иначе r – отрицательный, что определяет обратную связь. Если $\overline{xy} = \bar{x}\bar{y}$, тогда линейный коэффициент корреляции нулевой, следовательно между x и y нет зависимости. Отсюда видно, что значение r от 0 до 1 характеризует степень приближения корреляционной связи между x и y к функциональной.

Линейный коэффициент корреляции является показателем меры плотности связи, который описывает, насколько корреляционная зависимость между переменными x и y близка к линейной.

Вычислим среднюю квадратическую ошибку коэффициента корреляции σ_r для оценки значимости коэффициента. Оценка значимости r основана на сравнении значения r с его средней

квадратической ошибкой: $\frac{|r|}{\sigma_r}$. Особенности расчета σ_r зависят от количества опытов и объема выборки (n).

Если количество опытов n 50 и более, то σ_r рассчитывается в соответствии с выражением:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}}. \quad (4)$$

Если же количество опытов небольшое, менее 30, то σ_r – по формуле:

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{1 - r^2}}{\sqrt{n - 2}}. \quad (5)$$

T-критерий Стьюдента позволит оценить значимость r , для чего определяется расчетное значение критерия по формуле (6) и сопоставляется с табличным значением $t_{табл}$:

$$t_{РАСЧ} = \frac{|r|}{\sigma_r} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}. \quad (6)$$

Табличное значение критерия $t_{табл}$ определим по таблице распределения t-критерия Стьюдента. Если рассчитанное значение критерия $t_{РАСЧ}$ больше, чем $t_{табл}$, то коэффициент корреляции r считается значимым, а связь между переменными x и y – реальной. В противном случае отсутствует, а отличие r от нуля – случайность.

Коэффициент корреляции r при значениях менее 0,1 показывает, что линейная связь отсутствует. Значения $r = 0,1 \div 0,3$ определяют связь как слабую. При $r = 0,3 \div 0,5$ связь характеризуется средней умеренной, а при $r = 0,5 \div 0,7$ – средней заметной. Сильная связь по шкале Чеддока выявляется при r более 0,7: при $r = 0,7 \div 0,9$ высокая; при $r = 0,9 \div 0,99$ – весьма высокая.

Результаты и обсуждения

Методика проверки тесноты связи между величинами загруженности по часам суток в рабочие и выходные зимнего периода была выполнена для максимального из рассматриваемых по числу квартир двора (1044 кв.), находящегося в зоне влияния автостоянки открытого типа на 150 машин.

Полученные С. Г. Артемовой результаты [10] сведены в таблицы: загруженность двора и автостоянки в рабочие (табл. 1) и выходные дни (табл. 2):

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{1 - r^2}}{\sqrt{n - 2}} = 0,4074 / 4,2426 = 0,096;$$

$$t_{РАСЧ} = \frac{|r|}{\sigma_r} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = 0,913 / 0,096 = 9,51;$$

$$t_{ТАБЛ} = 2,101.$$

Так как $t_{табл} < t_{РАСЧ}$, связь можно считать весьма высокой или сильной (по Чеддоку), а коэффициент корреляции r значимым.

Таблица 1

Коэффициент корреляции загрузки территории двора и автостоянки в рабочие дни

Часы суток (рабочие дни)	Число автомо- билей во дворе	$(X - \bar{X})^2$	$\frac{X - \bar{X}}{\sigma}$	Число автомо- билей на авто- стоянке	$(Y - \bar{Y})^2$	$\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma}$	$t_x \cdot t_y$
1	2	4	5	6	8	9	10
00:00–05:00	252	4032,25	1,339	98	1909,7	1,418	1,899
05:00–06:00	248	3540,25	1,255	94	1576,1	1,288	1,616
06:00–07:00	240	2652,25	1,086	93	1497,7	1,256	1,364
07:00–08:00	204	240,25	0,327	60	32,5	0,185	0,060
08:00–09:00	148	1640,25	-0,854	41	176,9	-0,432	0,369
9:00–10:00	134	2970,25	-1,150	32	497,3	-0,724	0,833
10:00–11:00	123	4290,25	-1,382	27	745,3	-0,886	1,224
11:00–12:00	125	4032,25	-1,339	22	1043,3	-1,048	1,403
12:00–13:00	139	2450,25	-1,044	21	1108,9	-1,080	1,128
13:00–14:00	143	2070,25	-0,960	20	1176,5	-1,113	1,068
14:00–15:00	147	1722,25	-0,875	21	1108,9	-1,080	0,945
15:00–16:00	152	1332,25	-0,770	23	979,7	-1,016	0,782
16:00–17:00	163	650,25	-0,538	27	743,3	-0,886	0,477
17:00–18:00	186	6,25	-0,053	38	265,7	-0,529	0,028
18:00–19:00	200	132,25	0,243	54	0,1	-0,010	-0,002
19:00–20:00	214	650,25	0,538	59	22,1	0,152	0,082
20:00–21:00	220	992,25	0,664	74	388,1	0,639	0,424
21:00–22:00	234	2070,25	0,960	89	1204,1	1,126	1,081
22:00–23:00	245	3192,25	1,192	95	1656,5	1,321	1,575
23:00–24:00	252	4032,25	1,339	98	1909,7	1,418	1,899
		$\sigma_x = 47,41$	$r = 0,913$		$\sigma_y = 30,82$		

Таблица 2

Коэффициент корреляции загрузки территории двора и автостоянки в выходные дни

Часы суток (выходные дни)	Число ав- томоби- лей во дворе	$(X - \bar{X})^2$	$\frac{X - \bar{X}}{\sigma}$	Число автомо- билей на авто- стоянке	$(Y - \bar{Y})^2$	$\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma}$	$t_x \cdot t_y$
1	2	4	5	6	8	9	10
00:00–05:00	254	1030,3	1,159	96	436,8	1,112	1,289
05:00–06:00	253	967,3	1,123	96	436,8	1,112	1,249
06:00–07:00	251	846,7	1,051	95	396,0	1,059	1,113
07:00–08:00	249	734,5	0,978	92	285,6	0,899	0,879
08:00–09:00	242	404,0	0,726	88	166,4	0,686	0,498
09:00–10:00	223	1,2	0,040	76	0,8	0,048	0,002
10:00–11:00	206	252,8	-0,574	65	102,0	-0,537	0,308
11:00–12:00	191	954,8	-1,116	53	488,4	-1,176	1,312
12:00–13:00	179	1840,4	-1,549	51	580,8	-1,282	1,986
13:00–14:00	174	2227,8	-1,704	46	846,8	-1,548	2,638
14:00–15:00	183	1513,2	-1,404	47	789,6	-1,495	2,099
15:00–16:00	188	1149,2	-1,224	52	533,6	-1,229	1,504
16:00–17:00	201	436,8	-0,755	58	292,4	-0,910	0,687
17:00–18:00	214	62,4	-0,285	65	102,0	-0,537	0,153
18:00–19:00	228	37,2	0,220	74	1,2	-0,059	-0,013
19:00–20:00	229	50,4	0,256	80	24,0	0,261	0,067
20:00–21:00	232	102,0	0,365	85	98,0	0,527	0,192
21:00–22:00	238	259,2	0,581	92	285,6	0,899	0,522
22:00–23:00	248	681,2	0,942	95	396,0	1,011	0,952
23:00–24:00	254	1030,4	1,159	96	436,8	1,112	1,289
		$\sigma_x = 27,7$	$r = 0,937$		$\sigma_y = 18,8$		

$$\sigma_r = \frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n-2}} = 0,349 / 4,2426 = 0,082;$$

$$t_{РАСЧ} = \frac{|r|}{\sigma_r} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = 0,937 / 0,082 = 11,43,$$

$$t_{ТАБЛ} = 2,101.$$

В этом случае также связь считается весьма высокой или сильной, а коэффициент корреляции r значимым.

В процессе изучения взаимодействий проверялась плотность связи и соотношение между количеством транспорта и территориями, отведен-

ными под размещение этого транспорта – паркинг-местами [11–14]. Данные наблюдений загруженности дворовой территории и автостоянки,

находящейся вблизи жилой застройки, в рабочие и выходные дни можно представлять следующими графическими линейными зависимостями.

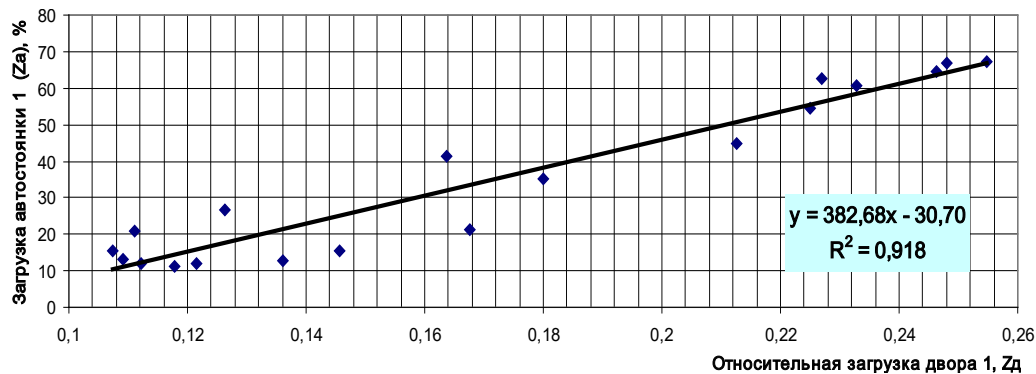


Рис. 3. Зависимость загруженности автостоянки от относительной загрузки автомобилями дворовой территории в весенний период по рабочим дням (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Dependence of the parking lot load on the relative load of cars in the yard area in the spring period on working days (illustration by the authors)

В качестве иллюстрации приведены графики зависимости загруженности, примыкающей к жилому массиву автостоянки от относительной за-

груженности дворовой территории в весенний период в рабочие дни (рис. 3) и в выходные (рис. 4). Аналогичные зависимости построены для зимнего, летнего и осеннего периодов.

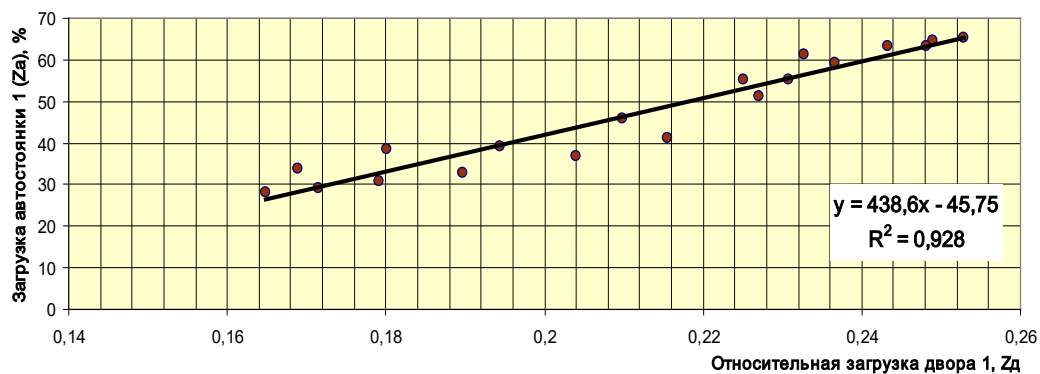


Рис. 4. Зависимость загруженности автостоянки от относительной загруженности дворовой территории в весенний период по выходным дням (иллюстрация автора)
Rice. 4. Dependence of the parking lot occupancy on the relative congestion of the yard area in the spring period on weekends (illustration by the authors)

Полученные знания позволяют оптимизировать работу по проектированию и оснащению автостоянок и исключить ненужные операции, повысив эффективность и автоматизировав переход от этапа проектирования к этапу разработки программного обеспечения [15, 16].

В выходные дни подвижность автомобилей во дворах и на автостоянках значительно ниже, поэтому и разброс значений на графиках в эти дни

также меньше, чем в рабочие дни недели. В общем виде линейная зависимость загрузки автостоянки (Z_a) от относительной загрузки дворовой территории (Z_d), находящейся в зоне влияния этой автостоянки, может быть представлена как:

$$Z_a = \gamma Z_d - k. \quad (7)$$

Значения эмпирических коэффициентов γ и k , в зависимости от сезона года и дня недели (рабочий, выходной), представлены в таблице 3.

Таблица 3

Эмпирические коэффициенты по сезонам года			
Сезоны года	Дни недели	Эмпирические коэффициенты	
		γ	k
зима	рабочие	428,73	41,59
	выходные	467,12	49,04
весна	рабочие	382,67	30,71
	выходные	438,61	45,74
лето	рабочие	351,12	27,10
	выходные	413,17	39,73
осень	рабочие	353,63	28,36
	выходные	406,81	39,82

Заключение

На основе проведенных оценок можно сделать следующие выводы:

- 1) оборудованные автостоянки необходимо располагать в селитебной зоне в непосредственной близости к жилым массивам, что способствует частичной разгрузки дворовых территорий;
- 2) автостоянки открытого типа небольшой вместимости (до 50 машин) не занимают много места и заполняются более полно, чем большие;
- 3) загруженность автостоянки и находящиеся поблизости дворовые территории находятся в тесной взаимосвязи, что подтверждено проведенным корреляционно-регрессионным анализом;

4) получено выражение для количественной оценки зависимости загруженности автостоянки от относительной загруженности личным автотранспортом двора по дням недели и сезонам года;

5) обоснованы пики загруженности автостоянок, которые наблюдаются с 16:00 до 22:00 в рабочее и с 16:00 до 21:00 в выходные дни.

Результаты проведенных исследований необходимо учитывать при проектировании новых парковочных площадей в селитебной зоне города. Предлагаемая методика может быть распространена на другие подобные ситуации, когда требуется определить емкость автостоянок внутри селитебной зоны.

Список литературы

1. Макаров А. В. Организация общественного пространства в подземных переходах города Волгограда / А. В. Макаров, М. А. Павлова, Л. Е. Дегтярева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 2 (79). – С. 186–193.
2. Адомавичус В. П. Вопросы паркинга автомобилей в жилых районах города / В. П. Адомавичус // Городское строительство и транспорт. Архитектура : материалы II республиканской научно-технической конференции по вопросам строительства и архитектуры. – Вильнюс, 1971. – С. 74–76.
3. Косицына Э. С. Проблема организации системы хранения автотранспорта в городах / Э. С. Косицына, Е. В. Калашникова // Устойчивое развитие городов и новации жилищно-коммунального комплекса : V Международная научно-практическая конференция, 4–7 апреля 2007 г., г. Москва. – Москва: МИКХиС, 2007. – Т. 1. – С. 177–179.
4. Алексеев Ю. В. Особенности формирования автостоянок в жилых образованиях с надземными территориями / Ю. В. Алексеев, Б. В. Леонтьев // Жилищное строительство. – 2009. – № 9. – С. 2–5.
5. Косицына Э. С. К вопросу об организации парковок легкового авто-транспорта в крупных и крупнейших городах / Э. С. Косицына, Е. В. Калашникова // Развитие современных городов и реформа жилищно-коммунального хозяйства : III Международная научно-практическая конференция, 6–7 апреля 2005 г., г. Москва. – Москва : МИКХиС, 2005. – С. 83–85.
6. Фадеев Д. С. Разработка метода организации паркинга автомобилей в центрах крупных городов / Д. С. Фадеев // Вестник ИРГТУ. – 2005. – № 1. – С. 175–176.
7. Donald C. Shoup. The Trouble With Minimum Parking Requirements / Donald C. Shoup // (UCLA) Transportation Research. Part A. – 1999. – Vol. 33. – P. 549–574.
8. Артемова С. Г. Модель формирования максимальной загрузки дворовых территорий паркующимися автомобилями / С. Г. Артемова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 22 (41). – С. 52–58.
9. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
10. Артемова С. Г. Определение зоны влияния автостоянки / С. Г. Артемова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 23 (42). – С. 92–96.
11. Gerlah V. J. Kennlinien der Parkraumnachfrage / V. J. Gerlah, R. Dohmen, H. Blochwitz. – Bremerhaven : Wirtschaftsverl N. W., 2000. – 90 p.
12. Arnott R. Modeling parking / R. Arnott, J. Rowse // Journal of Urban Economics. – 1999. – Vol. 45, № 1. – P. 97–124.
13. Maršanić R. Planning Model of Optimal Parking Area Capacity / R. Maršanić, Z. Zenzerović, E. Mrnjavac // Promet – Traffic&Transportation. 2010. – Vol. 22, № 6. – P. 449–457.
14. Calthrop E. Regulating urban parking: the choice between meter fees and time restrictions / E. Calthrop, S. Proost // ETE working paper 2000-06, CES, K.U. – Leuven, 2000. – 266 p.
15. Bruce Silver. BPMN Method and Style: A levels-based methodology for BPM process modeling and improvement using BPMN 2.0 / Bruce Silver. – Cody-Cassidy Press, 2009. – 236 p.
16. Stephen A. White, Derek Miers. BPMN Modeling and Reference Guide / A. Stephen. – Future Strategies Inc., 2008. – 226 p.

© **А. В. Макаров, А. А. Васильченко, Д. В. Ивасик**

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Васильченко А. А., Ивасик Д. В. Оценка и изучение загруженности автостоянок селитебной зоны города // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский гос. архит.-строит. университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 3 (53). С. 47–52.