УДК 711.4 DOI 10.25628/UNIIP.2022.55.4.002

МАЗАЕВ Г. В.

Особенности формирования компактных планировочных систем с круглой формой плана[1]

В статье рассматриваются особенности формирования планировочных систем в компактных круглых формах плана. Показана возможность создания в них любых типов планировок в соответствии с теоремой построения компактных градостроительных систем. Проведено исследование планировок различного композиционного построения по новой методике поля индексов точек, основанной на теореме множественности.

Ключевые слова: компактная планировка, теорема построения компактных систем, поле индексов точек, радиально-кольцевая планировочная система, теорема множественности индексов точек.

Mazaev G. V.
Features of the formation of compact planning systems with a round plan shape

The article discusses the features of the formation of planning systems in compact round plan forms. The possibility of creating any types of layouts in them in accordance with the theorem of constructing compact urban planning systems is shown. The study of the layouts of various compositional construction according to the new method of the field of point indices based on the multiplicity theorem is carried out.

Keywords: compact layout, compact systems construction theorem, point index field, radial-ring planning system, point index multiplicity theorem.

Мазаев Григорий Васильевич

кандидат архитектуры, профессор, академик РААСН, главный научный сотрудник, филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» УралНИИпроект, Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: uro-raasn@mail.ru

Как формируются наиболее компактные планировочные системы с круглой формой плана, и какие их особенности являются определяющими? Большинство исследователей феномена «компактного города» связывают их прежде всего с обеспечением высокой плотности застройки и любыми планировочными действиями, направленными на ее достижение. Об этом пишут Р. М. Вальшин и А. А. Хорунжев [3], Н. А. Орлова [9], ссылаясь, в том числе, на работу Д. Данцига и Т. Саати [4]. Парадоксально, но эти два автора, считающиеся первооткрывателями самого понятия «компактный город», высказывали прямо противоположные требования к компактному городу: «низкая плотность населения», наличие приусадебных участков, значительные площади для парков и зон отдыха, низкий силуэт [4, *16–17, 38*]. Другое качество — «равномерное распределение (застройки) по территории» — представляется важным для Ю. В. Катаева и И. Л. Добановой [6]. Все эти особенности планировочной системы компактного города могут быть реализованы в одном из многочисленных вариантов его построения. Однако они являются производными, а не определяющими планировочное построение компактного города, которое зависит от целого комплекса условий осуществления компактности. Эти условия доказаны теоремами компактности, среди которых находится теорема построения компактных структур [7]. Она определяет возможности создания разнообразных планировочных систем внутри одной компактной формы плана, что объясняет существование многочисленных планировочных вариантов компактных городов. Следствием является то, что за формулировкой «компактный город» стоит обширный класс поселений с большим разнообразием планировок.

Допуская создание на основе теоремы построения любой планировочной системы, необходимо ответить на вопрос: сохраняются ли у этих вариантов какие-то общие свойства или они имеют различия не на композиционном, а на смысловом уровне?

Наиболее компактные формы планов — круглая и квадратная. Квадратная форма, как правило, имеет планировочную структуру, построенную по регулярной прямоугольной сетке, повторяющую форму плана. Круглая форма имеет большое разнообразие планировок. Учитывая эту вариантность, рассмотрим на ее примере особенности формирования в ней различных планировок на основе теоремы построения.

1 Работа выполнена по плану ФНИ РААСН и Минстроя России на 2022 год в соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» и Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2022–2030 годы).

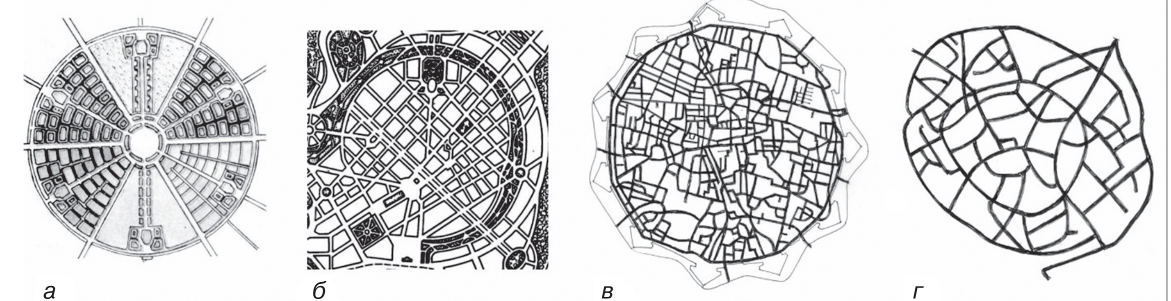


Иллюстрация 1. Различные типы построения планировочных систем в компактных планах городов:
а — Образцовый город Т. Эдварда; *б* — план города Ереван. 1924 г. Арх. А. Таманян; *в* — Никосия-Левкоша;
г — план города Нердлинген. Рисунок Г. В. Мазаева

Теорема построения компактных градостроительных структур доказывает возможность создания в одинаковых топологических условиях искусственного градостроительного пространства любых планировочных систем без изменения характеристики компактности. В целостном пространстве фигуры (плоские графы), образованные планировкой, будут иметь одинаковый топологический инвариант — Эйлерову характеристику: *Э* = 1 [7]. Это положение можно проиллюстрировать примерами из практики градостроительства (Иллюстрация 1).

На Иллюстрации 1 приведено несколько компактных круглых планов городов, имеющих различную планировочную систему. Идеальная радиально-кольцевая схема (*а*) вполне соответствует модели идеального города-сада с моноцентричной планировкой. Почти регулярная прямоугольная планировка прекрасно вписывается в круглую форму плана г. Еревана (*б*). Круглый план города Никосии-Левкоша (Кипр) имеет раздробленную запутанную планировку, включающую разнообразные планировочные элементы, в том числе и отдельные регулярные (*в*). Хаотичная застройка овального плана города Нердлингена (Германия) содержит внутри еще одну круглую структуру — первоначальное ядро города (*г*). Компактность этих структур во всех случаях остается неизменной.

Теорема построения компактных градостроительных структур позволяет выбирать любые их планировочные типы и дает возможность градостроителю свободно принимать решение по их композиционному построению, не ограничивая его творчество.

Проявление теоремы множественности индексов точек в круглых формах плана

Теорема множественности основана на топологическом инварианте «индекс точек»: компактность градостроительной системы тем выше, чем выше значение индексов точек на территории поля индексов. Индекс точки — число отрезков (дуг), сходящихся в этой точке [2]. Теорема позволяет оценивать компактность наиболее крупных градостроительных объектов — систем расселения, рассредоточенных на значительных территориях и не имеющих пространственной целостности [8].

Но она может использоваться и для оценки компактности пространственно-ограниченных планировочных систем городов. В этом значении теорема множественности индексов точек связывается с теоремой построения компактных градостроительных структур и позволяет определить планировочные характеристики планировочных систем в компактных формах плана, и установить, существуют ли различия между их вариантами.

Методика исследования планировочных систем на основе теоремы множественности

Основываясь на теореме множественности индексов точек, можно любую планировочную систему представить в виде сетевой структуры, узлы которой, образованные пересечениями улиц планировки, могут быть охарактеризованы индексами точек. Так как в различных планировках количество точек будет различаться, то сравнение таких сетевых структур можно проводить на основе среднего значения индекса точки ($K_j(\cdot)$), характеризующего всю структуру в целом.

Средний индекс точки ($K_j(\cdot)$) определяется как сумма индексов точек всей планировочной структуры ($\Sigma_j(\cdot)$), деленная на количество точек ($N_j(\cdot)$):

$$K_j(\cdot) = \frac{\Sigma_j(\cdot)}{N_j(\cdot)}. \qquad (1)$$

Средний индекс точки ($K_j(\cdot)$) характеризует сетевое построение планировки: чем больше его значение, тем более развита сетевая структура и тем выше ее плотность, понимаемая как количество планировочных элементов, приходящихся на единицу площади планировочной структуры.

Другой показатель для сравнения планировок — характеристика значения для планировочной системы образованного в ней элемента — ячейки (или клетки — в сетевой прямоугольной системе). Он выражается средним «индексом клетки» ($K_{кл}$), определяемым как сумма индексов точек ($\Sigma_j(\cdot)$), деленная на количество клеток (ячеек) планировочной структуры ($N_{кл}$):

$$K_j(\cdot) = \frac{\Sigma_j(\cdot)}{N_{кл}}. \qquad (2)$$

Этот усредненный показатель ($K_{кл}$) позволяет сравнить сложность организации планировочных систем: чем выше его значение, тем более сложная организация и более важное значение в планировке играют ее элементы. Это является следствием теоремы Дирихле и так называемых «разбиений Дирихле», которые образуют сетки из выпуклых многоугольников. Они обладают тем свойством, что все точки внутри каждого многоугольника расположены ближе к его центру, чем к любому другому соседнему центру. Чем сложнее организована сеть, тем больше граней у многоугольников. Рассматривая планировочную систему как сетку Дирихле, можно считать индекс клетки опосредованным выражением числа граней у планировочного элемента. Следовательно, чем выше значение индекса клетки ($K_{кл}$), тем сложнее организация планировочной системы.

Рассмотрим, как изменяются плотность сетевой планировочной структуры и сложность ее организации в различных типах планировок компактных градостроительных форм.

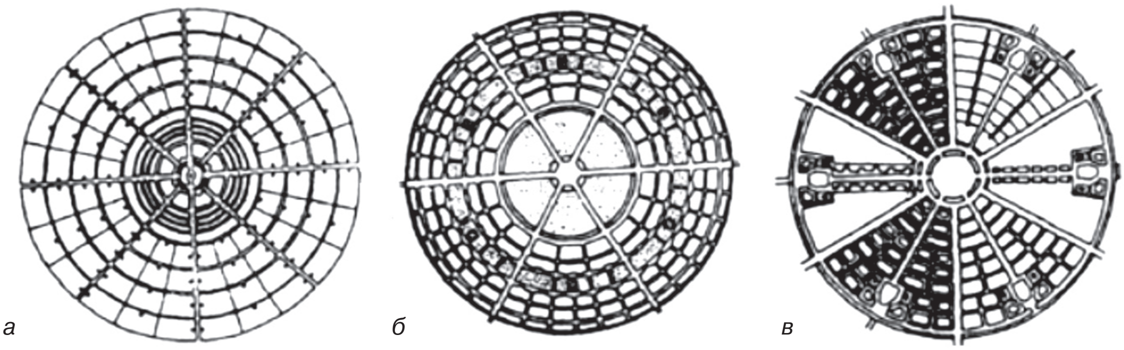
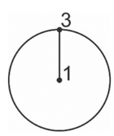
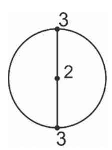
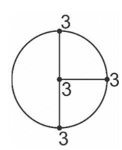
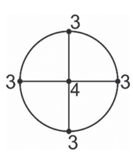
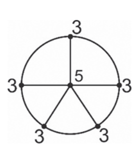
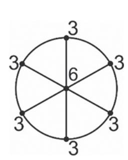
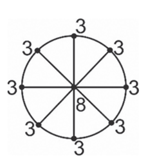
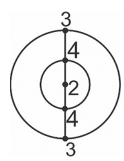
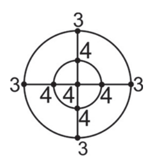
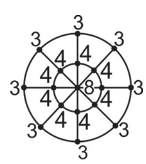
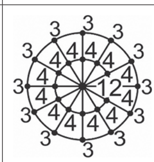
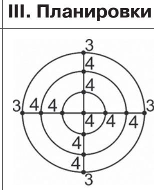
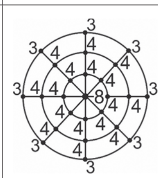
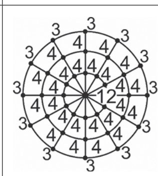


Иллюстрация 2. Планы идеальных городов XIX–XX вв.: *а* — Образцовый город, Р. Пенбертон (1848 г.); *б* — Город-сад, Э. Говард (1898 г.); *в* — Образцовый город, А. Т. Эдвард (1930 г.). По [1]

Таблица 1. Изменение сложности и плотности планировочной организации радиально-кольцевых планировочных систем

№	I. Планировки с одним кольцом	
1		Количество радиусов — 1 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 2
2		Количество радиусов — 2 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 2,66
3		Количество радиусов — 3 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3
4		Количество радиусов — 4 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,2
5		Количество радиусов — 5 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,3
6		Количество радиусов — 6 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,4
7		Количество радиусов — 8 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,55

	II. Планировки с двумя кольцами	
8		R/k, Радиус/количество колец — 2/2 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,2
9		R/k, Радиус/количество колец — 4/2 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,55
10		R/k, Радиус/количество колец — 8/2 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,76
11		R/k, Радиус/количество колец — 12/2 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,84
	III. Планировки с тремя кольцами	
12		R/k, Радиус/количество колец — 4/3 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,69
13		R/k, Радиус/количество колец — 8/3 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,84
14		R/k, Радиус/количество колец — 12/3 $K_{\text{кл}}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,89

Круглые формы плана и их планировки

Теорема построения компактных систем допускает любой планировочный вариант. Это подтверждается и практикой градостроительства. Даже один тип планировки может значительно различаться по своему рисунку, что особо наглядно видно в радиально-кольцевых планировках круглых планов городов (Иллюстрация 2).

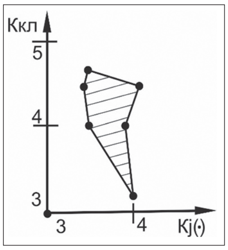
Приведенные здесь одинаковые круглые радиально-кольцевые планы «идеальных» моделей городов имеют различную планировку: план Р. Пенбертона состоит из 24 радиусов и 6 колец, план Э. Говарда — из 36 радиусов и 6 колец, план А. Эдварда — из 32 радиусов и 9 колец. Существует ли между ними какое-то различие, происходящее из их планировочной организации и влияющее на их свойства? Определим это на основе анализа реализации теоремы множественности индексов точек в круглых радиально-кольцевых планировочных структурах (Таблица 1). В Таблице 1 приведены три группы кольцевых структур: I группа — планировка с одним кольцом с количеством радиусов от 1 до 8; II группа — планировка с двумя кольцами и количеством радиусов от 2 до 12; III группа — планировка с тремя кольцами и количеством от 4 до 12. На каждой схеме точкам, образованным пересечениями элементов планировки, присвоены соответствующие им индексы точек.

В I группе планировок с появлением одного радиуса $(K_{\text{кл}}) = 4$, и это его значение сохраняется во всех случаях. Значение среднего индекса точки $(K_j(\cdot))$ возрастает с 2 до 3,55, однако с увеличением числа радиусов рост показателя постепенно падает (Таблица 2).

При дальнейшем росте количества радиальных структур происходит то же самое. Если принять количество

Таблица 2. Изменение ($K_{кл}$) и ($K_j(\cdot)$) радиально-кольцевых систем

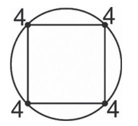
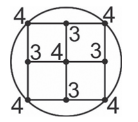
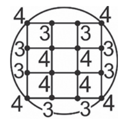
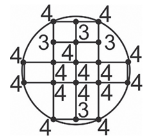
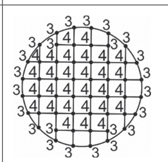
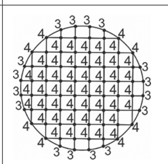
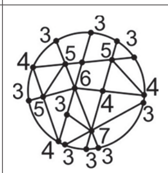
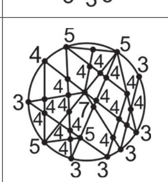
NR	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$K_{кл}$	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$K_j(\cdot)$	0	2	2,66	3	3,2	3,3	3,4	3,5	3,55	3,6	3,63	3,66	3,69
$\Delta K_j(\cdot)$	0	2	0,66	0,34	0,20	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03



$K_{кл}$	3,2	4	4,3	4	4,5	4,31
$K_j(\cdot)$	4	3,55	3,5	3,78	3,53	3,81
$(\cdot)$	1	2	3	4	5	6

Иллюстрация 3. График и таблица показателей (Ккл) и (Kj (·)) для круглых систем с произвольным построением планировки. Рисунок Г. В. Мазаева

Таблица 3. Деление круглой формы прямоугольной сеткой

№	I. Регулярная планировка в круге	
1		$K_{кл}$ — 3,2 $K_j(\cdot)$ — 4
2		$K_{кл}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,55
3		$K_{кл}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,55
4		$K_{кл}$ — 4 $K_j(\cdot)$ — 3,78
5		$K_{кл}$ — 4,5 $K_j(\cdot)$ — 3,53
6		$K_{кл}$ — 4,31 $K_j(\cdot)$ — 3,81
	II. Сплошное заполнение произвольной сеткой в круге	
7		$K_{кл}$ — 4,6 $K_j(\cdot)$ — 3,28
8		$K_{кл}$ — 3,8 $K_j(\cdot)$ — 4,2
9		$K_{кл}$ — 3,67 $K_j(\cdot)$ — 4,16

радиусов $R = 100$, то $K_j(\cdot) = 1,328$, при $R = 1000$ $K_j(\cdot) = 1,332$. То есть, $\Delta K_j(\cdot) = 0,004$ при столь значительном увеличении количества радиальных элементов планировки.

Во II группе планировок значение ($K_{кл}$) не изменяется. Увеличение числа кольцевых структур ведет к росту ($K_j(\cdot)$). При одинаковом количестве радиальных элементов оно выше, чем в планировках с одной кольцевой структурой: так, при количестве $R = 4$ средний индекс точки ($K_j(\cdot)$) будет при одной кольцевой структуре ($K_j(\cdot)) = 3,2$; при двух кольцевых структурах ($K_j(\cdot)) = 3,55$. В III группе планировок происходит тот же процесс роста ($K_j(\cdot)$) сравнительно с его значениями для II группы.

Среднее значение ($K_j(\cdot)$) растет во всех случаях при увеличении числа колец и числа радиусов радиально-кольцевой планировочной системы. Но индекс клетки ($K_{кл}$) сетевой структуры остается постоянным. Это позволяет сделать важный вывод о свойствах этого типа планировочных систем: *с ростом числа планировочных элементов возрастает степень компактности планировки в пределах до 30% в наиболее развитых вариантах планировки, но сложность радиально-кольцевой системы при любых ее построениях не меняется и не возрастает*, значение планировочных элементов в системе постоянно.

Характеристики любых радиально-кольцевых планировочных систем могут быть определены по формулам:

— средний индекс точки

$$K_j(\cdot) = \frac{3N_R + 4N_R\ N_{квн} + N_R}{N_R\ N_к\ +\ 1};\quad (3)$$

— средний индекс точки (ячейки)

$$K_{кл} = \frac{3N_R + 4N_R\ N_{квн} + N_R}{N_R\ N_к},\quad (4)$$

где N_R — количество радиусов; $N_{квн}$ — количество внутренних колец; $N_{кл}$ — общее количество колец.

Регулярные и произвольные построения планировок в круглом плане

В практике градостроительства существуют и другие варианты планировки круглых форм, кроме радиально-кольцевых: в них встречаются регулярные прямоугольные сетки и произвольное деление круглой формы плана (Иллюстрация 1). Они рассмотрены на теоретических примерах таких построений планировочной системы (Таблица 3).

В I группе рассмотрены варианты с заполнением круглой формы регулярной сеткой в виде квадрата с числом клеток от 1 до 61. В этом случае ($K_{кл}$) растет и превышает значение ($K_{кл}$) = 4, характерное для радиально-кольцевых систем. Индекс точки ($K_j(\cdot)$) снижается. С ростом числа ячеек сетки оба индекса изменяются разнонаправленно: ($K_{кл}$) сокращается; ($K_j(\cdot)$) растет. Во II группе с ростом числа ячеек сетки ($K_{кл}$) также сокращается, а индекс точки ($K_j(\cdot)$) изменяется разнонаправленно.

Попытка установить какую-либо устойчивую взаимозависимость ($K_{кл}$) и ($K_j(\cdot)$) представлена на графике (Иллюстрация 3). График не дает какого-то однозначного выражения, точки образуют сложное нерегулярное поле.

Можно заключить, что планировки нерегулярного типа в круглых формах плана не имеют однозначной тенденции в развитии и могут давать самые разные показатели компактности и сложности планировочных систем. Сложность планировок с регулярными сетками со сплошным заполнением круглой формы выше, чем в радиально-кольцевых планировках. Произвольные планировки самые непредсказуемые по своим результатам и могут не достигать желаемой при проектировании компактности. Будучи в основном историческими, подобно Никосии-Левкоша на Кипре, они нежелательны в современном градостроительстве.

Заключение

Главным выводом анализа круглых форм планов градостроительных объектов методикой индексов точек становится доказанная возможность существования в них любых видов планировочных систем. При этом всегда сохраняются их свойства компактности и сложности. Однако у различных типов планировок есть свои особенности. Радиально-кольцевые структуры имеют постоянную сложность планировочной организации, независимо от количества кольцевых и радиальных планировочных элементов. Но их компактность с ростом числа этих элементов возрастает.

Другая картина наблюдается при создании в круглой форме плана регулярной планировки в виде квадратной сетки: сложность планировочной структуры нарастает, как и ее компактность.

При создании планировки в виде нерегулярной сетки эти показатели нестабильны и меняются разнонаправленно без четкой взаимозависимости. Исследование позволяет заключить, что наиболее эффективной планировочной системой в круглой форме плана из всех возможных вариантов является регулярная квадратная сетка. При самой компактной форме плана она также обладает повышенной компактностью и сложностью планировочной организации и вполне предсказуема в своем развитии.

Список использованной литературы

[1] Барабанов А. А. Семиотика пространства: сб. науч. трудов / Междунар. ассоц. семиотики пространства. — Екатеринбург: Архитектон, 1999. — 687 с.

[2] Болтянский В. Г., Ефремович В. А. Очерк основных идей топологии // Математическое просвещение. — М.: Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1957. — Вып. 2. — С. 1–34.

[3] Вальшин Р. М., Хорунжев А. А. К проблеме плотности современного города // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство: сб. статей / под ред. М. В. Шувалова, А. А. Пищулева, Е. А. Ахмедовой. — Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2019. — С. 176–182.

[4] Данциг Дж., Саати Т. Компактный город: проект организации городской среды: пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1977. — 199 с.

[5] Иванькина Н. А., Перькова М. В. Концепция нового урбанизма: предпосылки развития и основные положения // Вестн. БГТУ им. Шухова. — 2018. — № 8. — С. 75–83.

[6] Катаева Ю. В., Добанова И. Л. Территориальная организация крупного города как фактор его развития (на примере г. Перми) // Проблемы современной экономики. — 2013. — № 13. — С. 76–81.

[7] Мазаев Г. В. Топологические основы компактности градостроительных структур // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2021. — № 3. — С. 16–21.

[8] Мазаев Г. В. Топологическое понятие компактности систем расселения // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. — 2021. — № 4. — С. 15–19.

[9] Орлова Н. А., Орлов Д. Н., Маслова Е. А. Проблема компактного города провинциальной России XXI века // Градостроительство и архитектура. — 2019. — Т. 9. — № 1. — С. 101–108.

References

[1] Barabanov A. A. Semiotika prostranstva: sb. nauch. trudov / Mezhdunar. assoc. semiotiki prostranstva. — Ekaterinburg: Arhitekton, 1999. — 687 s.

[2] Boltyanskij V. G., Efremovich V. A. Ocherk osnovnyh idej topologii // Matematicheskoe prosveshchenie. — M.: Gos. izd-vo tekhniko-teoret. lit., 1957. — Vyp. 2. — S. 1–34.

[3] Val'shin R. M., Horunzhev A. A. K probleme plotnosti sovremennogo goroda // Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i gradostroitel'stvo: sb. statej / pod red. M. V. Shuvalova, A. A. Pishchuleva, E. A. Ahmedovoj. — Samara: Samar. gos. tekh. un-t, 2019. — S. 176–182.

[4] Dancig Dzh., Saati T. Kompaktnyj gorod: proekt organizacii gorodskoj sredy: per. s angl. — M.: Strojizdat, 1977. — 199 s.

[5] Ivan'kina N. A., Per'kova M. V. Koncepciya novogo urbanizma: predposylki razvitiya i osnovnye polozheniya // Vestn. BGTU im. Shuhova. — 2018. — № 8. — S. 75–83.

[6] Kataeva Yu. V., Dobanova I. L. Territorial'naya organizaciya krupnogo goroda kak faktor ego razvitiya (na primere g. Permi) // Problemy sovremennoj ekonomiki. — 2013. — № 13. — S. 76–81.

[7] Mazaev G. V. Topologicheskie osnovy kompaktnosti gradostroitel'nyh struktur // Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN. — 2021. — № 3. — S. 16–21.

[8] Mazaev G. V. Topologicheskoe ponyatie kompaktnosti sistem rasseleniya // Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN. — 2021. — № 4. — S. 15–19.

[9] Orlova N. A., Orlov D. N., Maslova E. A. Problema kompaktnogo goroda provincial'noj Rossii XXI veka // Gradostroitel'stvo i arhitektura. — 2019. — T. 9. — № 1. — S. 101–108.

Статья поступила в редакцию 01.08.2022.
Опубликована 30.12.2022.

Mazaev Gregory V.
Candidate of Architecture, Professor, Academician of RAACS, Chief researcher, Branch of FSBI «CIRD of the Ministry of Construction of Russia» UralNIIprojekt, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: uro-raasn@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3353-7552