

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

К. А. Прошунина, Т. В. Хоменко

Прошунина Ксения Алексеевна, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства, и. о. проректора по научной работе и международной деятельности, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (960) 855-51-30; e-mail: ksuprosh@mail.ru;

Хоменко Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления», Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (988) 075-72-05; e-mail: t_v_homenko@mail.ru

В статье рассмотрены особенности развития сложных систем городской среды при организации благоустройства территорий. Объектом исследования является пространственная система городской среды, предметом – моделирование перспективных вариантов благоустройства. Выявлено, что при существующей методологии выбора на голосовании для реализации «дизайн-проектов» не учитываются различия в классах территорий, характерных для функций и способов их реализации, что ставит под сомнение корректность выбора. На основании выявленной классификации городских пространств определены особенности функционального назначения. Применение морфологического анализа позволяет систематизировать и структурировать функциональные компоненты, выявляя множество возможных проектных решений для каждого класса пространств. Результаты исследования подчеркивают важность системного подхода к благоустройству.

Ключевые слова: функциональное назначение, способы реализации функций, морфологический анализ, выбор, классификация, комбинации компонентов, городская среда, варианты.

PROSPECTIVE DEVELOPMENT OPTIONS OF THE URBAN ENVIRONMENT SYSTEM

K. A. Proshunina, T. V. Khomenko

Proshunina Kseniya Alekseyevna, Associate Professor of Architecture and Urban Planning Department, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (960) 855-51-30; e-mail: ksuprosh@mail.ru;

Khomenko Tatyana Vladimirovna, Doctor of Technical Sciences, Professor of Automated Information Processing and Control Systems Department, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (988) 075-72-05; e-mail: t_v_homenko@mail.ru

The article considers the features of development of complex systems of urban environment in the organization of improvement of territories. The object of the study is the spatial system of the urban environment, the subject is modeling of promising options for improvement. It was revealed that the existing methodology of choosing by voting for the implementation of "design projects" does not take into account the differences in the classes of territories and the functions characteristic of the classes and methods of implementing the functions, which calls into question the correctness of the choice. Based on the identified classification of urban spaces, the features of the functional purpose are determined. The use of morphological analysis allows us to systematize and structure functional components, identifying many possible design solutions for each class of spaces. The results of the study emphasize the importance of a systematic approach to improvement.

Keywords: functional purpose, methods of implementing functions, morphological analysis, selection, classification, combinations of components, urban environment, options.

Введение

Пространственное развитие градостроительных территорий Российской Федерации является одной из приоритетных целей государственного планирования. Для реализации поставленной цели, в части решения стратегической задачи по повышению уровня и качества жизни населения [1], осуществляется поддержка правительства по программе федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» в рамках национального проекта «Жилье и городская среда», что формирует возможности для регионов по благоустройству общественных

пространств как части процесса градостроительного развития территорий.

Объектом исследования выступает пространственная система городской среды.

Предметом исследования является моделирование перспективных вариантов развития сложных систем городской среды в области благоустройства.

В процессе организации благоустройства при работе проектных организаций с населением производится предварительный анализ запросов и территорий, заявленных к выполнению работ по благоустройству, уточняется техническое

задание для разработки «дизайн-проекта», определяется функциональное назначение территории, основные требования к проектированию [2]. По итогу деятельности сформированы технические задания на проектные решения для определенных территорий, предполагающих варианты развития сложных систем городской среды [3].

Таким образом, для последующего выбора, из предлагаемых вариантов благоустройства, посредством голосования в информационной системе [4] на вход предполагается направлять множество вариантов решений территорий, при этом территории могут быть отнесены по принадлежности к разным классам и иметь различные функциональные назначения, соответственно в исследовании возникает вопрос о корректности подобного сравнения «дизайн-проектов» для потенциального выбора.

Исследования в области развития городской среды активно изучаются на протяжении XX века и отражены в трудах [5–10], однако контекстом исследования являются общая теория городского развития [5], планировка и застройка городов в зонах жаркого климата [6], городское социальное пространство [7], оценка и анализ рисков событий [8], аналитический и экспертный анализ различных систем аспектов управления урбанизированными территориями [9], развитие инфраструктуры [10].

Результаты исследования [11, 12] представляют систематическое использование классификации при подготовке стратегий открытых пространств и установлении плана развития городской среды, при этом, авторами определяется принадлежность пространств относительно уровня использования, не рассматриваются варианты развития городской среды.

В [13] определена категоризация общественных открытых пространств по размеру и зоны покрытия, выявлен характер коммерческого использования, с целью создания безопасной реконструкции городских земель под общественное пространство, посредством привлечения экспертных групп, сформирована методика расчета индикатора и оценки доли населения, имеющего доступ к общественным открытым пространствам. Исследование всесторонне рассматривает привлечение населения в общественные пространства, но не исследуются особенности формирования вариантов.

Однако, при установленных, в предшествующих исследованиях, классификациях вопрос одностороннего сравнения перспективных вариантов развития городской среды не учитывается и требует уточнения.

Авторы [14–16] затрагивали теоретические основы оценки градостроительной территории, но характер исследований и предлагаемые способы оценки не направлены на возможные решения при осуществлении благоустройства территорий.

На основании рассмотренных источников определены представления о принадлежности территорий к разным классам, что подтверждает актуальность вопроса о невозможности осуществления выбора несравнимых вариантов. Таким образом, актуальность исследования обусловлена отсутствием обоснованной правомерности выбора «дизайн-проектов» объектов благоустройства общественных пространств в отсутствии альтернатив перспективных вариантов развития, что является нарушением в области системного анализа.

Целью исследования является выявление перспективных вариантов благоустройства общественных пространств в развитии сложных систем городской среды.

Для достижения цели поставлены задачи системного анализа, направленные на устранение выявленных нарушений:

- 1) анализ общественного пространства по принадлежности к определенному классу;
- 2) формирование множества перспективных вариантов для развития территории как части сложной системы городской среды;
- 3) выявление ограничений выбора перспективных вариантов благоустройства общественных пространств.

Метод

Для решения первой задачи, на основании [17], выявлены четыре класса городских общественных пространств, имеющих специфический характер использования: площадь; парк; набережная; дворовая территория. Каждый из этих классов анализируется посредством определенных характеристик с помощью морфологического анализа [18].

Морфологический анализ представляет собой мощный инструмент для систематического исследования сложных систем и поиска новых перспективных вариантов для развития, позволяющий структурировать разнообразные элементы и их взаимодействие, выявлять возможные комбинации [19].

В контексте использования морфологического анализа для разработки перспективных вариантов в сложной системе можно выделить несколько ключевых этапов:

- первый этап заключается в определении основных компонентов системы, которые будут анализироваться, в исследовании компонентами являются функции и способы реализации функций;
- на втором этапе осуществляется создание морфологической матрицы, в которой каждому элементу соответствуют варианты его проявления или состояния, осуществляется процедура выявления принадлежности функций общественного пространства к определенному классу, каждый из компонентов будет иметь свои варианты, и матрица позволит продемонстрировать все возможные комбинации;
- третий этап включает в себя анализ полученной матрицы на предмет формирования воз-

можных перспективных вариантов для развития территории как части сложной системы городской среды.

Формально нахождение числа сочетаний Q [20] различных способов реализации функций, характеризующихся разным сочетанием компонентов, можно записать в виде:

$$Q_{\mu}^k = \frac{\mu!}{(\mu - k)! \cdot k!}, \quad (1)$$

где μ – количество возможных способов реализации q -й функции компонентов (l_i^j); k – количество сочетаний компонентов.

Этот процесс является итеративным и может быть адаптирован в зависимости от изменений в условиях или новых данных, что делает его

особенно полезным при меняющихся запросах пользователей.

Результаты и обсуждение

Территория становится площадкой для организации благоустройства, что предполагает размещение множества средовых компонентов, обладающих определенным назначением. Выбор функционального назначения площадок определяется множеством запросов населения, представляющих информацию о желаемом результате, при этом мнения могут иметь значительные различия, что обуславливает альтернативные решения благоустройства. Сведения о функциональных возможностях по принадлежности к классам приведены на рисунке 1.

а) Класс I. Площадь.

Функции	Способы реализации функций			
Развлекательная (q_1)	Фестиваль	Ярмарка	Театрализованное представление	Концертное представление
Рекреационная (q_2)	Социальное взаимодействие	Социальная изоляция	Транзитный отдых	Интеллектуальный отдых
Игровая (q_3)	Тематический городок	Игровая площадка	Детский игровой парк	Временный игровой комплекс

б) Класс II. Парк.

Функции	Способы реализации функций			
Развлекательная (q_1)	Фестиваль	Ярмарка	Театрализованное представление	Концертное представление
Рекреационная (q_2)	Социальное взаимодействие	Социальная изоляция	Транзитный отдых	Интеллектуальный отдых
Игровая (q_3)	Тематический городок	Игровая площадка	Детский игровой парк	Спортивно-игровой комплекс
Оздоровительная (q_4)	Скейт-площадки	Гимнастические площадки	Воркаут	Спортивные площадки для командных игр

в) Класс III. Набережная

Функции	Способы реализации функций			
Развлекательная (q_1)	Фестиваль	Ярмарка	Театрализованное представление	Концертное представление
Рекреационная (q_2)	Социальное взаимодействие	Социальная изоляция	Транзитный отдых	Интеллектуальный отдых
Игровая (q_3)	Открытый аквапарк	Игровая площадка	Временный игровой комплекс	Спортивно-игровой комплекс
Оздоровительная (q_4)	Пляж	Открытые зоны бассейна	Воркаут	Спортивные площадки для командных игр

г) Класс IV. Дворовая территория.

Функции	Способы реализации функций		
Развлекательная (q_1)	Площадка для проведения активных мероприятий	Кинопоказ	Мероприятия мастерства
Рекреационная (q_2)	Социальное взаимодействие	Социальная изоляция	Интеллектуальный отдых
Игровая (q_3)	Игровая площадка	Водная игровая площадка	Тематический городок
Оздоровительная (q_4)	Спортивные площадки	Гимнастические площадки	Воркаут

Рис. 1. Функциональные возможности классов общественных пространств:

а) I класс «Площадь»; б) II класс «Парк»; в) III класс «Набережная»; г) IV класс «Дворовая территория»

Морфологический анализ представляет возможность рассмотреть основные компоненты системы общественных пространств, обладающих

набором пользовательских функций для конкретного класса, и продемонстрировать сходства и

различия между классами. В результате осуществления первого этапа определены основные компоненты системы для каждого класса, включающие функции и способы реализаций функций:

- класс I «Площадь»: развлекательная (q_1), с возможной организацией фестиваля (l_1^1), проведения ярмарки (l_2^1), театрализованного представления (l_3^1), концертного представления (l_4^1); рекреационная (q_2), с возможной организацией социального взаимодействия (l_1^2), зон социальной изоляции (l_2^2), зон транзитного отдыха (l_3^2), интеллектуального отдыха (l_4^2); игровая (q_3), с возможной организацией тематических городков (l_1^3), игровых площадок (l_2^3), детских игровых парков (l_3^3), временных игровых комплексов пневматических конструкций (l_4^3);

- класс II «Озелененные территории»: развлекательная (q_1), с возможной организацией фестиваля (l_1^1), проведения ярмарки (l_2^1), театрализованного представления (l_3^1), концертного представления (l_4^1); рекреационная (q_2), с возможной организацией социального взаимодействия (l_1^2), зон социальной изоляции (l_2^2), зон транзитного отдыха (l_3^2), интеллектуального отдыха (l_4^2); игровая (q_3), с возможной организацией тематического городка (l_1^3), игровых площадок (l_2^3), детского игрового парка (l_3^3), спортивно-игрового комплекса (l_4^3); оздоровительная (q_4) с возможной организацией скейт-площадки (l_1^4), гимнастической площадки (l_2^4), зоны воркаута (l_3^4), спортивных площадок для командных игр (l_4^4);

- класс III «Набережная»: развлекательная (q_1), с возможной организацией фестиваля (l_1^1), проведения ярмарки (l_2^1), театрализованного представления (l_3^1), концертного представления (l_4^1); рекреационная (q_2), с возможной организацией социального взаимодействия (l_1^2), зон социальной изоляции (l_2^2), зон транзитного отдыха (l_3^2), интеллектуального отдыха (l_4^2); игровая (q_3), с возможной организацией игровых площадок (l_2^3), спортивно-игрового комплекса (l_5^3), временных игровых комплексов пневматических конструкций (l_4^3), открытого аквапарка (l_6^3); оздоровительная (q_4) с возможной организацией зоны воркаута (l_3^4), спортивных площадок для командных игр (l_4^4), пляжной зоны (l_5^4), открытой зоны бассейна (l_6^4);

- класс IV «Дворовая территория»: развлекательная (q_1), с возможной организацией площадки для проведения активных мероприятий (l_5^1), кинопоказа (l_6^1), мероприятий мастерства (l_7^1); рекреационная (q_2), с возможной организацией социального взаимодействия (l_1^2), зон социальной изоляции (l_2^2), интеллектуального отдыха (l_4^2); игровая (q_3), с возможной организацией тематического городка (l_1^3), игровых площадок (l_2^3), водных игровых площадок (l_3^3); оздоровительная (q_4) с возможной организацией гимнастической площадки (l_2^4), зоны воркаута (l_3^4), спортивной площадки (l_4^4).

Сравнение классов по способу реализации функций отображено в таблице.

Таблица

Сравнение классов по способу реализации функций

Функция (q)	Способ реализации функций	Классы			
		I	II	III	IV
q_1	l_1^1	+	+	+	-
	l_2^1	+	+	+	-
	l_3^1	+	+	+	-
	l_4^1	+	+	+	-
	l_5^1	-	-	-	+
	l_6^1	-	-	-	+
	l_7^1	-	-	-	+
q_2	l_1^2	+	+	+	+
	l_2^2	+	+	+	+
	l_3^2	+	+	+	-
	l_4^2	+	+	+	+
q_3	l_1^3	+	+	-	+
	l_2^3	+	+	+	+
	l_3^3	+	+	-	-
	l_4^3	+		+	
	l_5^3	-	+	+	-
	l_6^3	-	-	+	-
	l_7^3	-	-	-	+
q_4	l_1^4	-	+	-	
	l_2^4	-	+	-	+
	l_3^4	-	+	+	+
	l_4^4	-	+	+	-
	l_5^4	-	-	+	-
	l_6^4	-	-	+	-

В результате анализа компонентов установлено, что пользовательские функции для классов I–III реализуют четыре функции, IV класс – три функции; при этом способы реализации функций посредством организации специализированных зон на территории благоустройства для каждой функции каждого класса имеют различия.

Таким образом, заключаем что особенности классовой организации территорий благоустройства не позволяют осуществлять выбор проектных решений среди разных классов ввиду различного набора функций, некоторых классов и способов реализации функций. Варианты разных классов обладают персональными характеристиками, что формирует множество несравнимых вариантов. Для устранения нарушения требуется формирование множества перспективных вариантов развития территории в границах одного класса.

По формуле (1) в соответствии с выявленными данными установлено количество всех возможных сочетаний комбинаций способов реализации функций между собой для каждого класса: класс I – 220 вариантов, класс II–III – по 1820, класс IV – 495 вариантов. Анализ демонстрирует множество возможных проектных решений для каждого класса, что расширяет существующие количественные пределы подачи «дизайн-проекта» объекта благоустройства, представляющие документацию в одном варианте для конкретной территории.

Окончанием формирования перспективных вариантов развития городской среды служат ограничения, определяемые выборку вариантов, удовлетворяющих заданным условиям соответствия:

- размещения на основании требований нормативной документации;
- распределения способов реализации функций по территории в контексте выполнения ранее сформированных социальных запросов;
- размещения объектов благоустройства в границах площади обозначенной территории

городского пространства с учетом уровней (u) распределения компонентов:

1) множество комбинаций компонентов площадок, сформированных по способу реализации функций варианта благоустройства (v_{ij} , где i – порядковый номер варианта, j – социальный запрос) размещается с суммарной площадью, не превышающей общей площади пространства территориально-распределенной пространственной системы (ТРПС) в одном уровне (рис. 2):

$$S_{v_{ij}} = \sum S_{v_{comb(A/B../n)}} \leq S_{ТРПС}, \quad (2)$$

при

$$S_{v_{comb(A/B../n)}} = (m_{RC} * u_{(1)} * S_{p_{1..i}^{j*A}}) + (m_{RC} * u_{(1)} * S_{p_{1..i}^{j*B}}) + \dots + (m_{RC} * u_{(1)} * S_{p_{1..i}^{j*n}}),$$

где $S_{v_{ij}}$ – общая площадь компонентов благоустройства в одном уровне варианта (v_{ij}); $u_{(1)}$ – коэффициент первого уровня, $u_{(1)} = 1$; $S_{v_{comb(A/B../n)}}$ – площадь комбинаций площадок благоустройства по j -ому социальному запросу; $S_{ТРПС}$ – площадь пространства территориально-распределенной пространственной системы;

2) множество комбинаций компонентов варианта (v_{ij}) размещается во втором уровне ТРПС ввиду недостаточной площади ТРПС ($S_{ТРПС}$) для размещения требуемых площадных компонентов по j -ому социальному запросу, суммарная площадь комбинаций компонентов в первом и втором уровнях, определяющих вариант (v_{ij}) меньше или равна двум площадям ТРПС (рис. 3):

$$S_{v_{ij}} = \sum S_{v_{comb(A/B../n)}} \leq 2S_{ТРПС}, \quad (3)$$

при

$$S_{v_{comb(A/B../n)}} = (m_{RC} * u_{(2)} * S_{p_{1..i}^{j*A}}) + (m_{RC} * u_{(2)} * S_{p_{1..i}^{j*B}}) + \dots + (m_{RC} * u_{(2)} * S_{p_{1..i}^{j*n}}),$$

где $S_{v_{ij}}$ – общая площадь компонентов благоустройства в одном уровне варианта (v_{ij}); $u_{(2)}$ – коэффициент второго уровня, $u_{(2)} = 2$; $S_{ТРПС}$ – площадь пространства ТРПС.

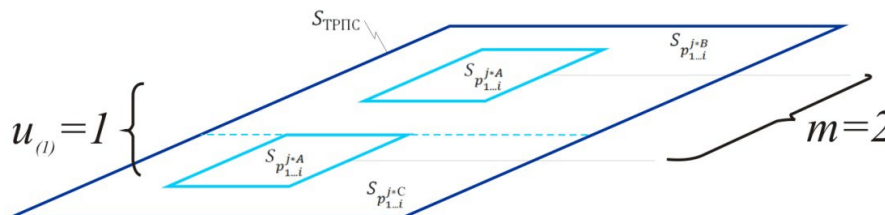


Рис. 2. Визуальное отображение размещения площадки при $m = 2, u = 1$

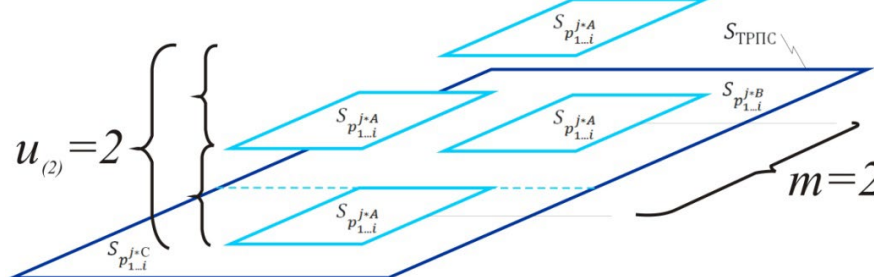


Рис. 3. Визуальное отображение размещения площадки при $m = 2, u = 2$

Закключение

В рамках системного анализа, позволяющего структурировать и исследовать сложные системы, такие как городская среда, выявляя взаимосвязи, функции, элементы и их взаимодействия, первоочередной задачей, явилось детальное изучение общественного пространства с позиции классификации.

В результате решения первой задачи посредством выявления особенностей каждого класса с помощью морфологического анализа сделаны выводы о корректности сравнения «дизайн-проектов» для территорий, относимых по принадлежности к разным классам с различными функциональными назначениями для потенциального выбора. В результате установлено, что существующая система выбора среди разных классов нарушает требования системного анализа.

По итогам второй задачи анализ позволил продемонстрировать множество потенциальных про-

ектных решений для каждого класса, что содействует расширению существующих количественных границ представления «дизайн-проекта» объекта благоустройства. Разработанная документация может быть предоставлена в нескольких вариантах, адаптированных для конкретной территории, а не ограничиваться единственным решением.

В результате третьей задачи проведенного исследования определены ограничения, которые способствовали сокращению множества сформированных вариантов развития городской среды.

Таким образом, результаты исследования подчеркивают важность системного подхода к благоустройству общественных пространств и его значимость для развития сложных систем городской среды. Достигнутые результаты могут быть использованы в будущем как основа для практической реализации проектов, способных генерировать множество решений, соответствующих современным требованиям и ожиданиям населения.

Список литературы

1. Карпушко Е. Н. Особенности правового регулирования в реализации инвестиционно-строительных проектов на этапе благоустройства придомовой территории / Е. Н. Карпушко, А. А. Кушнарева, А. А. Чеболтасова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4 (46). – С. 63–67.
2. Методические рекомендации по подготовке и реализации проектов общественных территорий. – Режим доступа: https://files-ice.asi.ru/iblock/b02/b021e34157a2459ad49fb542fb691c1d/Metodrekomendatsii_po_razrabotke_proektov_blagoustroystva_2024.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Бондарев И. С. Представление результатов теоретико-множественного анализа сложной системы / И. С. Бондарев, С. А. Гаврицков, О. С. Логунов, М. Ю. Наркевич // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2024. – № 5 (122). – С. 18–30.
4. Космачева И. М. Алгоритм безопасной обработки данных в процессе электронного голосования собственниками многоквартирных домов / И. М. Космачева, Н. В. Давидюк, И. В. Сибикина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 4 (50). – С. 116–122.
5. Гутнов А. Э. Эволюция градостроительства / А. Э. Гутнов. – Москва : Стройиздат, 1984.
6. Римша А. Н. Город и жаркий климат / А. Н. Римша. – Москва : Стройиздат, 1975. – 279 с.
7. Линч К. Образ города / К. Линч. – Москва : Стройиздат, 1986. – С. 8–15.
8. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – Москва : Наука, 1978.
9. Яйли Е. А. Научные и прикладные аспекты управления урбанизированными территориями на основе инструмента риска и новых показателей качества окружающей среды / Е. А. Яйли ; под ред. Л. Н. Карлина. – Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2006. – 448 с.
10. Яргина З. Н. Основы теории градостроительства / З. Н. Яргина, Я. В. Косицкий. – Москва : Стройиздат, 1986. – 327 с.
11. Nochian A. A comprehensive public open space categorization using classification system for sustainable development of public open spaces / A. Nochian, O. M. Tahir, S. Maulan, M. Rakhshanderoo // Universiti putra malaysia. – December 2015. – Alam Cipta Vol. 8 (Special Issue 1). – P. 29–40.
12. Ríos-Rodríguez M. L. Quality analysis and categorisation of public space / M. L. Ríos-Rodríguez, E. Suárez, B. Hernández, C. Rosales // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, issue 3. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584402301068X>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. UN-Habitat. SDG Indicator 11.7.1 Training Module: Public Space. United Nations Human Settlement Programme (UN-Habitat), Nairobi. M. Lorenzo, 2018.
14. Парыгин Д. С. Методы поддержки принятия решений на основе данных в задачах управления развитием урбанизированных территорий : автореф. дис. д-ра техн. наук. – Волгоград, 2023, – 356 с. – Режим доступа: <https://www.vstu.ru/upload/iblock/073/07356ce44d1b7d834e2604e58ba95d45.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Звягинцева А. В. Теоретические основы событийной оценки состояния и развития урбанизированных территорий. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Белгород. - 2018.-486 с.
16. Санжапов Р. Б. Методы и модели анализа нечеткой информации для обоснования мер по обеспечению экологической безопасности развития города/ Р. Б. Санжапов. – Режим доступа: <http://www.vstu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/grafik-zashchit/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Книга 4. Стандарт формирования облика города. – Режим доступа: https://psv4.userapi.com/s/v1/d/fiAdvIRMZpx_Avewhjvz4i5AhoGMStDf70Xzut-ypjwBrgpXQejz-figNsXmh3WNw97Is0oqz9Z-

EIM2z05Ms2CTXKBTeZd_XwHZSAnna1WrAqwXCXHDzw/Kn4_Standart_formirovania_oblika_goroda.pdf, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

18. Дубов Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец. – Москва : Наука, 1986. – 296 с.

19. Божко А. Н., Толпаров А. Ч. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью / А. Н. Божко, А. Ч. Толпаров. – Режим доступа: <https://www.metodolog.ru/00562/00562.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

20. Доможиров В. Т. Метод упорядочения сочетаний объектов в задачах структурной динамики технических систем / В. Т. Доможиров // Известия вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 7.

© К. А. Прошунина, Т. В. Хоменко

Ссылка для цитирования:

Прошунина К. А., Хоменко Т. В. Перспективные варианты развития сложных систем городской среды // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 1 (51). С. 87–93.

УДК 624.05

DOI 10.52684/2312-3702-2025-51-1-93-106

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ ГРАФИКОВ**

А. В. Игнатъев, Д. А. Саушкин

Игнатъев Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (8442) 96-99-45; e-mail: alignat70@yandex.ru;

Саушкин Дмитрий Александрович, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (961) 064-29-29; e-mail: saushkin_2014@mail.ru.

Исследование посвящено вопросам использования технологий информационного моделирования (BIM/ТИМ) для оптимизации календарно-сетевых графиков в строительстве. Авторы провели глубокий анализ существующих алгоритмических подходов, выявили их недостатки и ограничения, связанные с недостаточной адаптивностью к изменениям условий на строительной площадке и недостаточной интеграцией логистических и ресурсных аспектов. Предложена методика, в основе которой лежит динамический пересчет критических графиков с учетом многочисленных факторов, включая логические связи между строительными элементами, ресурсные ограничения, а также специально разработанный коэффициент готовности к монтажу (КГМ). Последний рассчитывается с учетом степени комплектности поставок материалов, обеспеченности строительной площадки необходимой проектно-сметной документацией и наличия квалифицированной рабочей силы. В работе показано, что интеграция BIM-технологий с алгоритмическими методами оптимизации (в частности, генетическими алгоритмами) позволяет существенно повысить точность прогнозирования сроков строительства, снизить вероятность простоев и оперативно реагировать на возникающие изменения. Авторы проанализировали существующие решения и определили направления дальнейших исследований, в том числе необходимость разработки более совершенных алгоритмов и методов интеграции информационных моделей в практику календарно-сетевого планирования. Сделаны выводы о перспективности предложенного подхода, а также о его потенциале для внедрения в практическую деятельность строительных организаций с целью повышения общей эффективности управления проектами.

Ключевые слова: сетевой график, генетический алгоритм, BIM, CPM, коэффициент готовности к монтажу, логические зависимости, 3D/4D-модель, 4D/5D-системы.

USING INFORMATION MODELS TO OPTIMIZE NETWORK GRAPHS

A. V. Ignatyev, D. A. Saushkin

Ignatyev Aleksandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, As Professor of Digital Technologies in Urban Planning, Architecture, and Construction Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (8442) 96-99-45; e-mail: alignat70@yandex.ru;

Saushkin Dmitriy Aleksandrovich, postgraduate student, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (961) 064-29-29; e-mail: saushkin_2014@mail.ru

The study examines the application of Building Information Modeling (BIM) technologies for the optimization of calendar-network schedules in construction projects. The authors address challenges associated with traditional planning methods, such as fragmented data, insufficient integration of logistical and resource aspects, and the limited capacity to dynamically adjust schedules to real-world conditions. A novel methodology is proposed, featuring dynamic recalcula-