

Научная статья

Original article

УДК 332.3

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_9_450

**МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ПРИКЛАДНОГО
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПЛАНИРОВАНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ
METHODOLOGY OF DEVELOPMENT OF APPLIED MATHEMATICAL
MECHANISM FOR FUNCTIONAL ZONING PLANNING OF
TERRITORIES**



Иванкова Марина Александровна, к.э.н., научный сотрудник, ФАУ «Единый научно-исследовательский и проектный институт пространственного планирования РФ», E-mail: i-0505@yandex.ru

Крючкова Екатерина Сергеевна, научный сотрудник, ФАУ «Единый научно-исследовательский и проектный институт пространственного планирования РФ», E-mail: Katya79687363557@mail.ru

Суслова Ольга Антоновна, младший научный сотрудник, ФАУ «Единый научно-исследовательский и проектный институт пространственного планирования РФ», E-mail: suslovaolechka@yandex.ru

Ivankova Marina A., research associate, PhD in Economics, State Research and Design Institute for Spatial Planning of the Russian Federation, E-mail: i-0505@yandex.ru

Kriuchkova Ekaterina S., research associate, State Research and Design Institute for Spatial Planning of the Russian Federation, E-mail: Katya79687363557@mail.ru

Suslova Olga A., junior researcher, State Research and Design Institute for Spatial Planning of the Russian Federation, E-mail: suslovaolechka@yandex.ru

Аннотация. В статье обосновывается актуальность разработки прикладного математического механизма планирования функционального зонирования территорий и его применимость в рамках устранения ряда выявленных системных проблем и недостатков существующей отечественной практики планирования функционального зонирования. Кроме того, проведенный анализ научных статей, предлагающих различные математические механизмы функционального зонирования, позволил выявить ряд их недостатков, существенных для практического применения. Разрабатываемый в данной статье механизм призван устранить такие недостатки. Обосновано применение метода математического моделирования при создании разрабатываемого механизма, сформулированы основные положения его разработки, представлен его общий математический вид и условия использования.

Abstract. The article substantiates the relevance of developing an applied mathematical mechanism for functional zoning planning of territories and its relevance for the addressing a number of identified systemic problems and shortcomings of the existing practice of functional zoning planning in Russian Federation. Moreover, the analysis of scientific papers proposing various mathematical mechanisms of functional zoning has revealed a number of their shortcomings, which are significant for the practical application. The mechanism developed in this paper aimed to eliminate such shortcomings. The article substantiates the application of mathematical modeling method in creating the mechanism of functional zoning planning, formulates the main provisions of its development, and presents its general mathematical form and terms of use.

Ключевые слова: функциональное зонирование, функциональная зона, математическое моделирование, зонирование территории, градостроительное планирование

Keywords: functional zoning, functional zone, mathematical modelling, zoning of the territory, urban planning

Введение

Функциональное зонирование территории (ФЗТ) является первым собственно планировочным и одним из важнейших этапов разработки генерального плана и единого документа территориального планирования и градостроительного зонирования городских образований и поселений. Это один из основных методов обеспечения рационального перераспределения земельных ресурсов в экономической, социальной, природоохранной и иных сферах народного хозяйства. Неудачное ФЗТ может привести к постоянным транспортным затруднениям, излишним затратам времени населения на передвижения, растягиванию инженерных коммуникаций, ухудшению санитарно-гигиенических и социальных условий проживания, к избыточным затратам на инженерное оборудование (и тем самым — к снижению темпов жилищного строительства), потерям экологического характера, серьезным препятствиям в пространственном развитии как всего города в целом, так и отдельных его зон.

Современная тенденция стремительного развития городов требует совершенствования существующих и создания новых методов эффективного перераспределения функций зон городского пространства.

До сих пор задачи планирования ФЗТ решаются экспертно специалистами-проектировщиками, исходя из их опыта и представления о территории, ее характеристиках и функциях. Такие решения носят субъективный характер.

Кроме того, российская система документов планирования территорий имеет ряд системных недостатков, связанных с рассогласованием регламентирующих документов и противоречащих данных в силу отсутствия единой методологии планирования ФЗТ.

Учитывая все вышеизложенное, современный подход к планированию ФЗТ больше не может носить субъективный бессистемный характер. Современные компьютерные средства позволяют разработать и применять механизм комплексной, системной оценки территории при планировании ее

функционального зонирования – учесть ландшафтные, экономические, социальные, экологические и прочие ее параметры, оценить расходную и доходную составляющие для территории при перераспределении ее функциональных зон. Современные технологии обеспечат быстродейственность этого механизма, что позволит своевременно актуализировать планы ФЗТ.

Актуальность данной статьи заключается в необходимости разработки математического механизма планирования ФЗТ, обеспечивающего формирование системного, объективного (учитывающего количественные показатели территории), эффективного плана зонирования территории.

1. Актуальные проблемы и перспективы развития функционального зонирования в нормативных правовых документах РФ

В Градостроительном кодексе Российской Федерации в целом отсутствует информация о способах определения границ функциональных зон и об их допустимых размерах. Согласно [1], план ФЗТ осуществляется экспертно специалистами-проектировщиками. Зонирование должно опираться на кадастровое деление территории, каждый земельный участок должен принадлежать только одной зоне [2]. Однако на практике границы зон могут пересекать границы земельных участков и даже объектов капитального строительства. Возникает юридическая неопределенность [3].

Территориальные зоны выделяются с учетом функциональных [4]. Соответственно, правила землепользования и застройки (ПЗЗ) должны быть связаны с генеральным планом (ГП). Однако, не существует строго закреплённой иерархии между данными документами территориального планирования и очередности их утверждения [5]. Документы разрабатываются последовательно, а не одновременно, часть сведений устаревают или теряет актуальность [6]. В результате нарушается вертикальная преемственность между документами различных уровней и горизонтальная согласованность [7].

Стремительно меняющиеся условия развития городов могут требовать своевременно принимаемых решений по ФЗТ. Например, эпидемия COVID-19

внесла изменения в сферу городского планирования: множество усилий было направлено на создание зеленых зон и общественных пространств, переход на онлайн-услуги создал логистические проблемы [8, 9].

Зонирование – это сложный междисциплинарный процесс, который затрагивает множество областей знаний: градостроительство, география, управление, экономика, право, социальные науки, транспортное обеспечение и др. [7]. Неизбежно возникают конфликты интересов и сложности при согласовании схемы зонирования. Для их устранения требуются значительные временные, трудовые и финансовые затраты для качественного выполнения задачи зонирования, которыми располагают не все российские муниципальные образования. Это осложняется отсутствием унифицированной методологии функционального зонирования, которая учитывала бы максимальное число критериев [5]. На практике учесть все факторы существующими методами зонирования и удовлетворить все интересы крайне сложно, одни критерии могут игнорироваться в ущерб другим. Нарушается равновесие урбоэкосистемы, появляются диспропорции в обеспеченности объектами различного функционала [10].

В результате город развивается не как единое целое, а как совокупность районов или зон, у каждой из которых своя траектория развития [11], то есть не системно. В целом важно понимать, что ФЗТ осуществляется внутри административных единиц. Деление на зоны производится, в первую очередь, для решения управленческих задач и может не совпадать с реальными зонами влияния [3]. Это особенно сильно проявляется в растущих агломерациях, где межселенные территории все больше вовлекаются в городские процессы, меняя свои функции, а несколько населенных пунктов усиливают свои связи настолько, что превращаются в единый сложный организм и, соответственно, требуют нового комплексного подхода в зонировании.

Другого рода конфликт возникает на стыке существующего использования и перспективного. С одной стороны, зонирование – это метод территориального планирования, а, значит, оно должно опираться

на стратегии развития и отражать конечную точку развития, определенную в том или ином документе [12]. С другой стороны, зонирование должно опираться на существующее положение с учетом реального использования земель, максимально удовлетворять интересы населения (непосредственных пользователей пространства) и защищать их права [3]. В таком случае есть опасность узаконивания неправомерного использования территории через зонирование, что происходило в 2000-х гг, когда в большинстве российских городов отсутствовал ГП и осуществлялась стихийная застройка, в том числе в санитарно-охранных районах [13].

Последние рекомендации по комплексному применению пакетов прикладных программ в разработке генеральных планов городов были разработаны в 1989 году ЦНИИП градостроительства [14]. Отметим, что данные рекомендации разрабатывались, в том числе, специально для планирования ФЗТ. В них содержится математическое описание, структура, возможности и методики применения пакетов прикладных программ для использования в проектировании ГП городов. Данные рекомендации не получили широкого применения в практике градостроительства, ФЗТ в РФ осуществляется экспертно специалистами-проектировщиками.

В настоящее время такие рекомендации являются устаревшими. Хотя, отметим, что некоторые положения в этих рекомендациях могут быть использованы при построении актуального математического механизма планирования ФЗТ, который может способствовать устранению ряда системных проблем и недостатков существующей отечественной практики планирования ФЗТ. Оперативность, с которой возможно решение задачи планирования функционального зонирования при помощи данного механизма, позволит сохранить актуальность планов ФЗТ во всей иерархии соответствующих документов при легитимном и своевременном применении такого механизма на отраслевом уровне.

Учет сложившейся застройки и особенностей организации городского пространства в целом позволит подойти к зонированию как к единой системе.

Количественная оценка всех необходимых параметров территории обеспечит разработку объективного, комплексного плана зонирования территории. Внедрение целевого количественного критерия оценки эффективности такого плана предоставит ориентир для выбора более оптимального плана зонирования лицам, принимающим управленческие решения по развитию территории, и, как результат, позволит учесть эту информацию в соответствующих документах градостроительного планирования и развития.

2. Анализ предлагаемых в научных публикациях методов определения границ функциональных зон территории

Проведенное исследование современных научных публикаций по урбанистике выявило ряд разработанных авторами методов планирования ФЗТ.

1. Метод Иерархического семантического познания (Hierarchical Semantic Cognition, HSC) [15] предназначен для распознавания существующих функциональных зон по данным дистанционного зондирования (ДДЗ) и данным о точках интересов (Points Of Interests, POIs) вероятностным подходом на основе визуальных признаков.

2. Авторский метод формирования карт городского землепользования (установления границ землепользования с указанием видов использования земель) [16] распознает функциональные зоны застроенного пространственного сегмента, который выделяется по ДДЗ, на основе анализа облака POIs с учетом их весовых коэффициентов.

3. Метод Иерархической кластеризации (Hierarchical Clustering) [17, 18] – статистический метод, суть которого заключается в отнесении объектов к определенному виду зон таким образом, чтобы выборки внутри одной зоны (кластера) были максимально похожи, а выборки в разных – максимально различались. Исследованы так же различные виды методов иерархической кластеризации:

3.1. Метод агломеративной иерархической кластеризации (Agglomerative Hierarchical Clustering, АНС) [18] представляет собой подход

«снизу-вверх», при котором изначально каждый объект представляет собой отдельный кластер, а объекты итеративно объединяются по какому-либо параметру, образуя более крупные кластеры;

3.2. Метод разделяющей иерархической кластеризации (Divisive Hierarchical Clustering) [18] представляет собой подход «сверху-вниз», при котором изначально все объекты формируют единый кластер, от которого итеративно отделяются объекты по параметру евклидова расстояния;

3.3. Взвешенная модель иерархической кластеризации (Hierarchical Weighted Clustering Model) [17] учитывает соотношение различных параметров кластеризации внутри одного кластера.

4. Метод кластеризации K-средних (K-Means Clustering) [18] формирует k кластеров таким образом, чтобы минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от их центров. Это итеративный подход, в ходе которого перемещаются центры кластеров;

5. В работе [19] применяются и сравниваются различные виды пространственной кластеризации данных с присутствием шума на основе плотности исходных данных (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, DBSCAN):

5.1. Метод DBSCAN выполняет непрерывное расширение для каждого кластера, включая новые объекты в процессе блуждания, которые находятся в окрестности заданного диаметра. В результате области с высокой плотностью принимаются за кластеры, а области с низкой плотностью – за шумы;

5.2. Улучшенный метод DBSCAN (Enhanced DBSCAN, EDBSCAN) имеет дополнительный параметр плотности ядер и параметр однородности исходных данных. Ядро расширяется, когда изменение его плотности не превышает заданного порога однородности.

5.3. Метод DBSCAN для сетевого пространства (Network Space DBSCAN, NS-DBSCAN) [20] обеспечивает новый метод визуализации распределения плотности и указания внутренней структуры кластеризации;

5.4. Адаптивный метод DBSCAN [21] (Adaptive DBSCAN, ADBSCAN) позволяет выделять кластеры разной плотности среди массива объектов путем изменения значения радиуса окрестности и минимального количества точек в ней. Перед началом работы алгоритма необходимо задать количество кластеров;

5.5. Иерархический метод DBSCAN (Hierarchical DBSCAN, HDBSCAN) – усовершенствован авторами работы. В рамках данного метода сначала выполняется первоначальное разделение набора данных на основе плотности выборок исходных данных. Далее осуществляется иерархическая кластеризация для выполнения агрегации соседних кластеров. Основываясь на внутренних и пограничных расстояниях между кластерами, наиболее похожие кластеры рассматриваются как соседние и объединяются, образуя новый кластер. Основываясь на способе разделения и агрегирования, метод может идентифицировать кластеры с различными формами в наборе данных;

6. Метод Кластеризации OPTICS (Упорядочивание точек для идентификации структуры кластеризации, Ordering Points to Identify the Clustering Structure, OPTICS) [18] как и ADBSCAN используется для идентификации кластеров различной плотности. В качестве дополнительного параметра используется расстояние до ближайшей точки. Таким образом, алгоритм исключает возможность пропуска кластеров с более высокой плотностью;

7. Метод глубокого обучения U-Net (Deep Learning U-Net, UDL) [22]. Это метод классификации с контролируемым обучением. В рамках этого метода выборки, которые являются фундаментальными для распознавания зональных функций, должны быть отобраны в первую очередь. Данный подход широко используется для классификации городских функциональных зон.

Проведенное исследование вышеперечисленных методов позволило выявить ряд их недостатков. Данные методы:

1. не учитывают сложившееся ФЗТ, закрепленное в местной градостроительной документации. Изученные методы кластеризации в основе своей имеют подход всеобщей кластеризации территории – зонинг «с нуля»;

2. не учитывают неизменяемую часть существующего положения ФЗТ, то есть не предусматривают возможности оставить без изменений часть территории, не планируемую к изменению функционального назначения;

3. не предлагают механизмы приведения к сопоставимому виду своих параметров;

4. не предоставляют возможности оценки расходов, связанных с изменением плана ФЗТ. В то время как именно экономические факторы (инвестиционные и другие расходы на изменение плана зонирования территории) зачастую являются одними из основополагающих при принятии управленческих решений о зонировании;

5. не предоставляют возможности оценки ежегодных доходов и расходов территории в результате проведения ФЗТ. То есть не учитывают эффективность принятых управленческих решений о градостроительном развитии территории;

6. не предоставляют единого критерия оценки эффективности предлагаемого плана ФЗТ. Нет аналитического или другого объективного доказательства, что именно такое расположение зон оптимально для формирования на данной территории;

7. не создавались специально для планирования функциональных зон городских территорий. Более того, все рассмотренные методы не создавались для анализа именно территорий. Это либо методы кластеризации точек на поверхности, фактически – геометрические методы, либо методы классификации (U-Net);

8. не имеют очевидного представления в рамках реализации средствами информационных технологий. Предложенный вид математического аппарата сложен для автоматизации;

На наш взгляд, математический механизм, реализующий возможность планирования ФЗТ, должен учесть и устранить все вышеперечисленные недостатки рассмотренных методов зонирования.

3. Основные положения разработки математического механизма планирования функционального зонирования территории

Данный математический механизм разрабатывается целенаправленно для прикладного применения при планировании ФЗТ.

3.1. Метод разработки

Для разработки математического механизма планирования ФЗТ выбран метод моделирования. Такой метод позволяет учесть все необходимые параметры и характеристики территории при планировании ее функционального зонирования, при необходимости учесть функциональные связи между такими показателями. Данный метод способен обеспечить:

- формализацию цели ФЗТ,
- учет сложившуюся застройку,
- осуществление функционального зонирования отдельной части, а не всей территории.

Метод моделирования обеспечивает возможность системного, объективного, актуального, наглядного для использования средствами информационных технологий и адекватного существующей реальности представления информации о территории [14]. Кроме того, метод моделирования позволяет учитывать дополнительные данные для повышения детализированности оценки, расширять, совершенствовать полученный математический механизм.

Этот метод достаточно очевидно автоматизируем и может быть реализован в качестве прикладного программного комплекса.

3.2. Учет факторов

В рамках создания математического механизма планирования ФЗТ, на наш взгляд, важно предусмотреть возможность учета всех необходимых для

проведения такого планирования факторов, например: факторов транспортной инфраструктуры, инженерных коммуникаций, экологических, социальных условий, затрат на инженерное оборудование и пр.

3.3. Постановка задачи

Задача ФЗТ (в дискретной постановке) состоит в следующем: задана некоторая избыточная по площади территория, определенная своими границами на плане и разделенная наложенной на нее квадратной сеткой на элементы, называемые ячейками [23].

Площадь ячейки устанавливается с учетом как необходимой на данной стадии планирования точности описания характеристик градостроительных элементов, так и соображений вычислительного характера, связанных с необходимостью ограничения числа переменных. Ячейка территории рассматривается как простейший элемент планировочной ситуации, внутренне неструктурированный, однородный [14]. Все физико-географические характеристики (уклон рельефа, несущая способность грунтов и т. д.) берутся по территории ячейки усреднено и каждая ячейка характеризуется вектором параметров, полностью описывающим все те ее свойства, которые должны быть учтены в рамках рассматриваемой задачи.

Каждая ячейка характеризуется определенными значениями набора параметров (факторов), определяющих инженерно-геологические, санитарно-гигиенические, архитектурно-ландшафтные, функциональные и экономические условия для данной территории. Учет всех факторов, необходимых для планирования ФЗТ, средствами информационных технологий даст возможность обеспечить прозрачность формирования потоков расходов и доходов с территории, возникающих в связи составлением плана ФЗТ, сформировать объективную, комплексную оценку эффективности такого плана.

Обобщенно для разрабатываемого математического механизма планирование ФЗТ характеризуется:

- условиями и приоритетами различных видов показателей планирования зонирования;
- расходами на осуществление мероприятий, связанных с установлением нового плана ФЗТ;
- ежегодными расходами и доходами при новом плане ФЗТ [24, 25].

3.4. Учет сложившегося зонирования

Разрабатываемый математический механизм учитывает сложившееся зонирование территории – устанавливает изменяемую и неизменяемую часть существующего положения ФЗТ. Для этого в рамках постановки задачи планирования ФЗТ выделяются пассивная и активная части территории. Пассивной называется часть территории со сложившимся и неизменяемым планом зонирования. Активной называется часть территории, где функциональное зонирование может меняться, и требуется составить оптимальный план зонирования [23].

В соответствии с вышесказанным предложим следующую постановку задачи в общем виде.

Будем называть допустимым планом ФЗТ план территории, в котором выполнены условия рассмотрения только активных ячеек с учетом бинарного характера переменных в них. То есть, если некоторая ячейка используется под некоторую конкретную заданную функцию, то независимая переменная в этой ячейке принимает значение 1, в противном случае – 0. Отметим, что каждая активная ячейка может быть использована под одну и только под одну функцию. Число ячеек, отводимых в произвольном плане X под каждую функцию, должно быть равно некоторому заданному числу. Сумма чисел ячеек, отводимых под активные функции, должна быть равна числу активных ячеек.

3.5. План функционального зонирования. Общий вид

Планирование ФЗТ по сути – это изменение функции каждой активной ячейки территории или присвоение ей определенного функционального назначения (для вновь осваиваемых территорий).

Обобщенная формула разрабатываемого плана ФЗТ имеет вид:

$$X = \{U, C, S, D\} \quad (1)$$

где U – множество матриц условий и приоритетов, устанавливаемых при ФЗТ;

C – множество матриц показателей расходов, возникающих при реализации определенного плана ФЗТ X (далее: план X);

S – множество матриц показателей ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X ;

D – множество матриц показателей ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана X .

3.5.1. Условия и приоритеты

Условиями и приоритетами могут выступать, например, приоритетность одних ячеек перед другими при соблюдении условий предпочтения близости/дальности одного вида функциональных зон к другому.

Матрица условий и приоритетов для α -го вида показателей имеет вид:

$$U_{\alpha} = \{u_{\alpha}\} \text{ при } \alpha = 1 \dots A. \quad (2)$$

где u_{α} – приоритетность или заданное численно условие для α -го вида учитываемых показателей каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

α – вид учитываемых показателей, для которых требуется установить приоритетность, $\alpha = 1 \dots A$;

A – количество видов учитываемых показателей, для которых требуется установить приоритетность.

Тогда множество матриц условий и приоритетов, устанавливаемых при ФЗТ, имеет вид:

$$U = \{U_{\alpha}\} \text{ при } \alpha = 1 \dots A. \quad (3)$$

Примером матрицы условий и приоритетов может служить случай, когда всем ячейкам жилой зоны присваивают высокий приоритет при планировании ФЗТ к разведению вблизи озелененной территории (в отличие от низкого приоритета для жилой зоны к размещению вблизи промышленной зоны).

3.5.2. Оценка расходов на реализацию плана X

Количество учитываемых видов расходов определяется в рамках поставленной задачи планирования ФЗТ. Это могут быть затраты на инженерную подготовку территории; затраты на отчуждение территории, выделяемой при изменении ее функционального назначения; пр.

В общем виде матрица t -го вида расходов, возникающих при реализации плана X, представлена формулой (4):

$$C_t = \{c_t\} \text{ при } t = 1 \dots T. \quad (4)$$

где c_t – значение t -го вида учитываемых расходов, возникающих при реализации плана X, каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

t – вид учитываемых расходов, возникающих при реализации плана X, по всем активным ячейкам, $t = 1 \dots T$;

T – количество видов учитываемых расходов, возникающих при реализации плана X.

Тогда множество матриц показателей расходов, возникающих при реализации плана X, имеет вид:

$$C = \{C_t\} \text{ при } t = 1 \dots T. \quad (5)$$

Целевая функция расходов по всем анализируемым параметрам для рассматриваемого плана $X = \{U, C, S, D\}$ имеет вид:

$$F(C) = \sum_{t=1}^T c_t \quad (6)$$

Для целевой функции расходов, возникающих при реализации определенного плана X, должно выполняться следующее условие:

$$F(C) \rightarrow \min \quad (7)$$

3.5.3. Оценка ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X

Количество учитываемых видов ежегодных расходов определяется в рамках поставленной задачи планирования ФЗТ. В зависимости от уровня требуемой детализации оценки, располагаемой информации и т.п. это могут быть, например, различные социальные выплаты.

В общем виде матрица t -го вида ежегодных расходов представлена формулой (8):

$$S_k = \{s_k\} \text{ при } k = 1 \dots K. \quad (8)$$

где S_k – матрица k -го вида ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X;

s_k – значение k -го вида учитываемых ежегодных расходов каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

K – количество видов учитываемых ежегодных расходов.

Тогда множество матриц показателей ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X, имеет вид:

$$S = \{S_k\} \text{ при } k = 1 \dots K. \quad (9)$$

Функция ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X = {U, C, S, D} имеет вид:

$$F(S) = \sum_{k=1}^K s_k \quad (10)$$

3.5.4. Оценка ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана X

Ежегодными доходами с территории выступают различные виды налогов и сборов, сформированных, исходя из планируемого ФЗТ и ориентировочных усредненных показателей застройки по аналогии с имеющимися данными о пассивной части территории.

В качестве ежегодных доходов могут выступать: налог на имущество; налог на доходы физических лиц; налог на прибыль; пр.

В общем виде матрица r -го вида ежегодных доходов представлена формулой (11):

$$D_r = \{d_r\} \text{ при } r = 1 \dots R. \quad (11)$$

где d_r – значение r -го вида учитываемых ежегодных доходов каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

R – количество видов учитываемых ежегодных доходов в математической модели.

Тогда множество матриц показателей ежегодных доходов, устанавливаемых для территории в зависимости от параметров территории и реализации плана X , имеет вид:

$$D = \{D_r\} \text{ при } r = 1 \dots R. \quad (12)$$

Функция ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана $X = \{U, C, S, D\}$ имеет вид:

$$F(D) = \sum_{r=1}^R d_r \quad (13)$$

Очевидно, совокупное значение ежегодных доходов не может учитываться без понесенных ежегодных расходов при определенном плане ФЗТ. Поэтому при наличии оценки ежегодных доходов с территории для нового плана ФЗТ в качестве целевой функции может учитываться разность (сальдо) полученных значений функций $F(D)$ и $F(S)$. Значение разности должно стремиться к максимально возможному:

$$(F(D) - F(S)) \rightarrow \max \quad (14)$$

Такая функция покажет ежегодную отдачу для бюджета при реализации плана X , то есть эффективность принятых управленческих решений о градостроительном развитии территории.

3.5.5 Математический механизм планирования функционального зонирования территории. Общий вид

Таким образом, разрабатываемый прикладной математический механизм планирования ФЗТ представим в общем виде следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \{U, C, S, D\} \\ U_{\alpha} = \{u_{\alpha}\} \text{ при } \alpha = 1 \dots A \\ U = \{U_{\alpha}\} \text{ при } \alpha = 1 \dots A \\ C_t = \{c_t\} \text{ при } t = 1 \dots T \\ C = \{C_t\} \text{ при } t = 1 \dots T \\ S_k = \{s_k\} \text{ при } k = 1 \dots K \\ S = \{S_k\} \text{ при } k = 1 \dots K \\ D_r = \{d_r\} \text{ при } r = 1 \dots R \\ D = \{D_r\} \text{ при } r = 1 \dots R \end{array} \right. \quad (15)$$

$$F(C) \rightarrow \min$$

$$(F(D) - F(S)) \rightarrow \max$$

где X — произвольный план ФЗТ;

U — множество матриц условий и приоритетов, устанавливаемых при ФЗТ;

C — множество матриц показателей расходов, возникающих при реализации плана X ;

S — множество матриц показателей ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X ;

D — множество матриц показателей ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана X ;

U_{α} — матрица условий и приоритетов для α -го вида учитываемых показателей, для которых требуется установить приоритетность;

α — вид показателей, для которых требуется установить приоритетность, $\alpha = 1 \dots A$;

A — количество видов показателей, для которых требуется установить приоритетность;

u_{α} — приоритетность или заданное численно условие для α -го вида показателей каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

C_t — матрица t -го вида расходов, возникающих при реализации плана X ;

t – вид расходов, возникающих при реализации плана X , по всем активным ячейкам, $t = 1 \dots T$;

T – количество видов расходов, возникающих при реализации плана X ;

c_t – значение t -го вида расходов, возникающих при реализации плана X , каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

S_k – матрица k -го вида ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X ;

s_k – значение k -го вида ежегодных расходов каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

k – вид ежегодных расходов по всем активным ячейкам, $k=1 \dots K$;

K – количество видов ежегодных расходов;

D_r – матрица r -го вида ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана X ;

r – вид ежегодных доходов по всем активным ячейкам, $r = 1 \dots R$;

R – количество видов ежегодных доходов;

d_r – значение r -го вида ежегодных доходов каждой активной ячейки, используемой под определенную функцию;

$F(C)$ – целевая функция расходов, возникающих при реализации плана X ;

$F(S)$ – функция ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана X ;

$F(D)$ – функция ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана X ;

$(F(D)-F(S))$ – целевая функция сальдо между ежегодными доходами и расходами, ожидаемыми после реализации плана X .

Выбор целевой функции зависит от наличия информации о расходах на реализацию плана зонирования; ежегодных расходах и доходах, ожидаемых после реализации плана зонирования, а также от стратегии градостроительного развития территории.

Выводы

Предложенная методология разработки математического механизма планирования ФЗТ учитывает имеющийся опыт создания математических

механизмов, проанализированных в ряде актуальных научных публикаций, предусматривает устранение выявленных недостатков.

Основные положения разработки математического механизма планирования ФЗТ включают:

1. Обоснование выбора в качестве метода разработки – метода математического моделирования, способного обеспечить возможность системного, объективного, актуального, наглядного для использования средствами информационных технологий и адекватного существующей реальности представления информации о территории;

2. Описание особенностей учета факторов, в зависимости от целей и детализации проведения ФЗТ;

3. Общий вид постановки задачи ФЗТ с представлением основных учитываемых видов параметров;

4. Особенности учета сложившегося ФЗТ с установлением изменяемой и неизменяемой части зонирования;

5. Общий вид плана ФЗТ с формализованным описанием его основных составляющих:

- a. условий и приоритетов;
- b. расходов на реализацию плана ФЗТ;
- c. ежегодных расходов, ожидаемых после реализации плана ФЗТ;
- d. ежегодных доходов, ожидаемых после реализации плана ФЗТ;
- e. целевых функций оценки эффективности плана ФЗТ;

6. Общий формализованный вид математического механизма планирования ФЗТ с описанием его основных составляющих.

Предложенная методология разработки прикладного математического механизма планирования ФЗТ предоставляет возможность создания актуального и объективного плана функционального зонирования территории. Предлагаемый подход позволяет системно учесть все необходимые для достижения поставленных стратегических и иных целей развития территории параметры.

1. Руководство по комплексной оценке и функциональному зонированию территории в районной планировке // центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству госгражданстроя (ЦНИИП градостроительства)/ 1979
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ
3. Горюнова, О. И. Актуализация документов территориального планирования города Красноярска в целях приведения их в соответствие с требованиями законодательства РФ / О. И. Горюнова // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Омск, 26 марта 2020 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2020. – С. 169-175. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42797700_16282479.pdf
4. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 N 190-ФЗ
5. Журавлев, П. А., Марукян, А. М., Сборщиков, С. Б. Регулирование градостроительного зонирования, территориального планирования, проектирования городов и объектов // Промышленное и гражданское строительство. – 2021. – № 7. – С. 31-43. – DOI 10.33622/0869-7019.2021.07.31-43. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46478893_41713082.pdf
6. Колпакова, О. П. Территориальное зонирование в системе управления земельными ресурсами // Научно-практические аспекты развития АПК: Материалы национальной научной конференции, Красноярск, 12 ноября 2020 года. Том Часть 2. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. – С. 74-78. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44891083_42506844.pdf
7. Комаров, С. И., Антропов, Д. В. Методы кластерного зонирования территории региона для целей управления земельными ресурсами // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 66-85. – DOI 10.15826/vestnik.2017.16.1.004. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_28794177_99267709.pdf

8. How Covid-19 Exposed Weaknesses in Urban Planning? // The practice group : сайт. – URL: <https://practicegroup.co.za/how-covid-19-exposed-weaknesses-in-urban-planning/>
9. Гукасян, Г. Л. Урбанизация и пандемия COVID-2019 в городах мира: утрата преимуществ города или переосмысление городского развития? // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Государственное и муниципальное управление. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 7-19. – DOI 10.22363/2312-8313-2021-8-1-7-19. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44890054_24136330.pdf
10. Савенко, А. А., Кагальницкий, А. И., Перехода, Е. Г. Современные проблемы и перспективы застройки крупных городов // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2020. – № 8. – С. 804-810. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45768971_82601449.pdf
11. Симанкина, Т. Л., Болобан, Т.И. Влияние планировочной структуры города на его развитие // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2020. – № 8. – С. 743-749. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45768963_80960366.pdf
12. Акутнева, Е. В. Виды зонирования на территории Российской Федерации и зарубежных стран // RESEARCH INNOVATIONS 2019: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 23 сентября 2019 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2019. – С. 57-63. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_41117778_26086404.pdf
13. Бобкова, Т. Е. Значение функционального зонирования города // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2009. – № 6(195). – С. 11-14. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15203523_47178780.pdf
14. Рекомендации по комплексному применению пакетов прикладных программ в разработке генеральных планов городов / ЦНИИП градостроительства. — М.: Стройиздат, 1989. – 176 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294853/4294853968.pdf?ysclid=liik8jy1tt195510763>

15. Xiuyuan Zhang, Shihong Du, Qiao Wang. Hierarchical semantic cognition for urban functional zones with VHR satellite images and POI data. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 132 (2017) 170–184. URL: https://www.researchgate.net/publication/320009352_Hierarchical_semantic_cognition_for_urban_functional_zones_with_VHR_satellite_images_and_POI_data
16. Jinchao Song, Tao Lin, Xihu Li, Alexander V. Prishchepov. Mapping urban functional zones by integrating very high spatial resolution remote sensing imagery and points of interest: a case study of Xiamen, China // URL: https://www.researchgate.net/publication/295082521_Mapping_Urban_Land_Use_by_Using_Landsat_Images_and_Open_Social_Data
17. Tao Lina, Caige Suna, Xihu Li, Qianjun Zhaoc, Guoqin Zhanga, Rubing Gea, Hong Yea, Ning Huange, Kai Yinc. Spatial pattern of urban functional landscapes along an urban–rural gradient: A case study in Xiamen City, China. // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 46:22-30, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/285607592_Spatial_pattern_of_urban_functional_landscapes_along_an_urban-rural_gradient_A_case_study_in_Xiamen_City_China
18. Yongcai Jing, Ranhao Sun, and Liding Chen. A Method for identifying urban functional zones based on landscape types and human activities // Sustainability 2022, 14, 4130. URL: https://www.researchgate.net/publication/359621988_A_Method_for_Identifying_Urban_Functional_Zones_Based_on_Landscape_Types_and_Human_Activities
19. Hui Liu, Yang Liu, Ran Zhang, Xia Wu. A Clustering Algorithm via Density Perception and Hierarchical Aggregation Based on Urban Multimodal Big Data for Identifying and Analyzing Categories of Poverty-Stricken Households in China // Hindawi Scientific Programming, 2021. URL: <https://www.hindawi.com/journals/sp/2021/6692975/>
20. T. Wang, C. Ren, Y. Luo, and J. Tian, “NS-DBSCAN: a density-based clustering algorithm in network space,” ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 8, no. 5, p. 218, 2019

21. H. Li, X. Liu, T. Li et al., "A novel density-based clustering algorithm using nearest neighbor graph," *Pattern Recognition*, vol. 102, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/338667762_A_Novel_Density-Based_Clustering_Algorithm_Using_Nearest_Neighbor_Graph
22. Yüewen Yang, Dongyan Wang, Zhuoran Yan, Shuwen Zhang. Delineating urban functional zones using U-Net Deep Learning: case study of Kuancheng District, Changchun, China // *Land* 2021,10, 1266. URL: https://www.researchgate.net/publication/356431634_Delineating_Urban_Functional_Zones_Using_U-Net_Deep_Learning_Case_Study_of_Kuancheng_District_Changchun_China
23. Рекомендации по комплексному применению пакетов прикладных программ в разработке генеральных планов городов / ЦНИИП градостроительства. — М.: Стройиздат, 1989. — 176 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294853/4294853968.pdf?ysclid=liik8jy1tt195510763>
24. Митягин С.Д. Роль градостроительной документации в социально-экономическом и пространственном развитии Приневской урбанизированной зоны // *Архитектурный Петербург моно.* - 2018. - №3(53) – С. 50-60. URL: http://archpeter.ru/upload/information_system_19/0/0/3/8/8/group_388/information_groups_property_553.pdf
25. Методические рекомендации по оценке экономической эффективности мероприятий комплексного развития территорий / Кикава Н.П., Лазарев А.С, Анциферов В.В., Менделенко О.А., Валиуллина А.Н. — М.: Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский и проектный институт Градостроительного планирования города Москвы», 2017. — 92 с. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293738/4293738921.pdf>

References

1. Rukovodstvo po kompleksnoj ocenke i funkcional`nomu zonirovaniyu territorii v rajonnoj planirovke // central`ny`j nauchno-issledovatel`skij i proektny`j institut po gradostroitel`stvu gosgrazhdanstroya (CzNIIP gradostroitel`stva)/ 1979
2. Zemel`ny`j kodeks Rossijskoj Federacii ot 25.10.2001 N 136-FZ

3. Goryunova, O. I. Aktualizaciya dokumentov territorial'nogo planirovaniya goroda Krasnoyarska v celyax privedeniya ix v sootvetstvie s trebovaniyami zakonodatel'stva RF / O. I. Goryunova // Geodeziya, zemleustrojstvo i kadastry: problemy i perspektivy razvitiya : Sbornik materialov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Omsk, 26 marta 2020 goda. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni P.A. Stoly`pina, 2020. – S. 169-175. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_42797700_16282479.pdf
4. Gradostroitel`nyj kodeks RF ot 29.12.2004 N 190-FZ
5. Zhuravlev, P. A., Marukyan, A. M., Sborshnikov, S. B. Regulirovanie gradostroitel'nogo zonirovaniya, territorial'nogo planirovaniya, proektirovaniya gorodov i ob`ektov // Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2021. – № 7. – S. 31-43. – DOI 10.33622/0869-7019.2021.07.31-43. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46478893_41713082.pdf
6. Kolpakova, O. P. Territorial'noe zonirovaniye v sisteme upravleniya zemel'ny`mi resursami // Nauchno-prakticheskie aspekty razvitiya APK: Materialy nacional'noj nauchnoj konferencii, Krasnoyarsk, 12 noyabrya 2020 goda. Tom Chast` 2. – Krasnoyarsk: Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020. – S. 74-78. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44891083_42506844.pdf
7. Komarov, S. I., Antropov, D. V. Metody klasternogo zonirovaniya territorii regiona dlya celej upravleniya zemel'ny`mi resursami // Vestnik UrFU. Seriya: Ekonomika i upravlenie. – 2017. – T. 16, № 1. – S. 66-85. – DOI 10.15826/vestnik.2017.16.1.004. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_28794177_99267709.pdf
8. How Covid-19 Exposed Weaknesses in Urban Planning? // The practice group : сайт. – URL: <https://practicegroup.co.za/how-covid-19-exposed-weaknesses-in-urban-planning/>
9. Gukasyan, G. L. Urbanizaciya i pandemiya COVID-2019 v gorodax mira: utrata preimushhestv goroda ili pereosmyslenie gorodskogo razvitiya? // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie. – 2021. – T. 8, № 1. – S. 7-19. – DOI 10.22363/2312-

8313-2021-8-1-7-19.

URL:

https://elibrary.ru/download/elibrary_44890054_24136330.pdf

10. Savenko, A. A., Kagal'niczkij, A. I., Perexoda, E. G. Sovremennye problemy i perspektivy zastrojki krupnyx gorodov // Elektronnyj setевой politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". – 2020. – № 8. – S. 804-810. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45768971_82601449.pdf

11. Simankina, T. L., Boloban, T.I. Vliyanie planirovochnoj struktury goroda na ego razvitie // Elektronnyj setевой politematicheskij zhurnal "Nauchnye trudy KubGTU". – 2020. – № 8. – S. 743-749. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45768963_80960366.pdf

12. Akutneva, E. V. Vidy zonirovaniya na territorii Rossijskoj Federacii i zarubezhnyx stran // RESEARCH INNOVATIONS 2019: sbornik statej Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa, Petrozavodsk, 23 sentyabrya 2019 goda. – Petrozavodsk: Mezhdunarodnyj centr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka», 2019. – S. 57-63. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_41117778_26086404.pdf

13. Bobkova, T. E. Znachenie funkcional'nogo zonirovaniya goroda // Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya - ZNiSO. – 2009. – № 6(195). – S. 11-14. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_15203523_47178780.pdf

14. Rekomendacii po kompleksnomu primeneniyu paketov prikladnyx programm v razrabotke general'nyx planov gorodov / CzNIIP gradostroitel'stva. — M.: Strojizdat, 1989. – 176 s. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294853/4294853968.pdf?ysclid=liik8jy1tt195510763>

15. Xiuyuan Zhang, Shihong Du, Qiao Wang. Hierarchical semantic cognition for urban functional zones with VHR satellite images and POI data. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 132 (2017) 170–184. URL: https://www.researchgate.net/publication/320009352_Hierarchical_semantic_cognition_for_urban_functional_zones_with_VHR_satellite_images_and_POI_data

16. Jinchao Song, Tao Lin, Xihu Li, Alexander V. Prishchepov. Mapping urban functional zones by integrating very high spatial resolution remote sensing imagery and points of interest: a case study of Xiamen, China // URL: https://www.researchgate.net/publication/295082521_Mapping_Urban_Land_Use_by_Using_Landsat_Images_and_Open_Social_Data
17. Tao Lina, Caige Suna, Xihu Li, Qianjun Zhaoc, Guoqin Zhanga, Rubing Gea, Hong Yea, Ning Huange, Kai Yinc. Spatial pattern of urban functional landscapes along an urban–rural gradient: A case study in Xiamen City, China. // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 46:22-30, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/285607592_Spatial_pattern_of_urban_functional_landscapes_along_an_urban-rural_gradient_A_case_study_in_Xiamen_City_China
18. Yongcai Jing, Ranhao Sun, and Liding Chen. A Method for identifying urban functional zones based on landscape types and human activities // Sustainability 2022, 14, 4130. URL: https://www.researchgate.net/publication/359621988_A_Method_for_Identifying_Urban_Functional_Zones_Based_on_Landscape_Types_and_Human_Activities
19. Hui Liu, Yang Liu, Ran Zhang, Xia Wu. A Clustering Algorithm via Density Perception and Hierarchical Aggregation Based on Urban Multimodal Big Data for Identifying and Analyzing Categories of Poverty-Stricken Households in China // Hindawi Scientific Programming, 2021. URL: <https://www.hindawi.com/journals/sp/2021/6692975/>
20. T. Wang, C. Ren, Y. Luo, and J. Tian, “NS-DBSCAN: a density-based clustering algorithm in network space,” ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 8, no. 5, p. 218, 2019
21. H. Li, X. Liu, T. Li et al., “A novel density-based clustering algorithm using nearest neighbor graph,” Pattern Recognition, vol. 102, 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/338667762_A_Novel_Density-Based_Clustering_Algorithm_Using_Nearest_Neighbor_Graph
22. Yuewen Yang, Dongyan Wang, Zhuoran Yan, Shuwen Zhang. Delineating urban functional zones using U-Net Deep Learning: case study of Kuancheng

District, Changchun, China // Land 2021,10, 1266. URL:
https://www.researchgate.net/publication/356431634_Delineating_Urban_Functional_Zones_Using_U-

[Net_Deep_Learning_Case_Study_of_Kuancheng_District_Changchun_China](https://www.researchgate.net/publication/356431634_Delineating_Urban_Functional_Zones_Using_U-Net_Deep_Learning_Case_Study_of_Kuancheng_District_Changchun_China)

23. Rekomendacii po kompleksnomu primeneniyu paketov prikladny`x programm v razrabotke general`ny`x planov gorodov / CzNIIP gradostroitel`stva. — M.: Strojizdat, 1989. — 176 s. URL:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294853/4294853968.pdf?ysclid=liik8jy1tt195510763>

24. Mityagin S.D. Rol` gradostroitel`noj dokumentacii v social`no-e`konomicheskom i prostranstvennom razvitii Prinevskoj urbanizirovannoj zony` // Arxitekturny`j Peterburg mono. - 2018. - №3(53) — S. 50-60. URL:
http://archpeter.ru/upload/information_system_19/0/0/3/8/8/group_388/information_groups_property_553.pdf

25. Metodicheskie rekomendacii po ocenke e`konomicheskoj e`ffektivnosti meropriyatij kompleksnogo razvitiya territorij / Kikava N.P., Lazarev A.S, Anciferov V.V., Mendelenko O.A., Valiullina A.N. — M.: Gosudarstvennoe avtonomnoe uchrezhdenie goroda Moskvu` «Nauchno-issledovatel`skij i proektny`j institut Gradostroitel`nogo planirovaniya goroda Moskvu`», 2017. — 92 s. URL:
<https://meganorm.ru/Data2/1/4293738/4293738921.pdf>

Для цитирования: Иванкова М.А., Крючкова Е.С., Сулова О.А. Методология разработки прикладного математического механизма планирования функционального зонирования территорий // Московский экономический журнал. 2023. № 9. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2023-31/>

© Иванкова М.А., Крючкова Е.С., Сулова О.А., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 9.