



УДК 372.851

ПОДХОДЫ К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Щелкунова Л.И., доцент
кафедры высшей математики

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Емец М.С., к. экон. н.,
старший преподаватель кафедры отельно-ресторанного бизнеса
Одесская национальная академия пищевых технологий

В статье проведена параметризация и построена математическая модель оптимизационной задачи при проектировании территории. Рассмотрены вопросы построения различных модификаций этой модели. Затронута проблема включения математического аппарата оптимизационных методов в процесс подготовки будущих проектировщиков.

Ключевые слова: оптимизация, архитектурно-градостроительное решение, параметризация, математическая модель, оптимизационные методы и модели, интегрированное обучение.

У статті проведена параметризація та побудована модель оптимізаційного завдання під час проектування території. Розглянуто питання побудови різних модифікацій цієї моделі. Порушено питання включення математичного апарату оптимізаційних методів у процес підготовки майбутніх проектувальників.

Ключові слова: оптимізація, архітектурно-містобудівельне рішення, параметризація, математична модель, оптимізаційні методи та моделі, інтегроване навчання.

Shchelkunova L.I., Yemets M.S. APPROACHES TO THE PARAMETRIZATION OF OPTIMIZATION PROBLEMS OF AN ARCHITECTURALLY URBAN SOLUTION

In this article, the authors carried out a parameterization and built the mathematical model of the optimization problem in the design of the territory. The questions of constructing various modifications of this model are considered. The problem of including the mathematical apparatus of optimization methods in the process of preparing future designers is touched upon.

Key words: optimization, architectural and town-planning solution, parameterization, mathematical model, optimization methods and models, integrated training.

Современная архитектурно-градостроительная область включает громадное число процессов, оказывающих влияние на качество жизнедеятельности населения. Учёт всех условий протекания этих процессов при принятии управленческого решения является очень сложной и одновременно важной задачей. Однако в настоящее время в научной среде не существует комплексного подхода к систематизации оптимизационных задач, возникающих в архитектурно-градостроительном проектировании, и подходов к выбору математических методов их решения.

По мнению автора, содержание математического образования студентов специальности «Архитектура и градостроение» не соответствует требованиям современного архитектурного проектирования. Анализ литературы свидетельствует о том, что информация о математических методах и моделях в архитектуре разрознена и несистематизированная. Процесс включения математических знаний в структуру архитектурного образования является противоречивым [4, с. 212].

Среди авторов, которые занимаются проблемами оптимизации при принятии архитектурно-градостроительного решения, можно выделить таких, как Нагинская В.С., Захаров Ю.И., Мазаев А.Г., Велигоцкая Ю.С., Михайлов О.В., и других. Однако эти специалисты практически не затрагивают проблему включения математического аппарата решения оптимизационных задач в практику проектирования.

Под оптимизацией архитектурно-градостроительного решения понимают процесс поиска наилучшего проекта, в котором осуществлена оптимизация всех основных конструктивных, экономических, экологических, санитарно-гигиенических, эстетических и других параметров.

По мнению Мазаева А.Г., оптимизационные задачи в градостроении можно типизировать по следующим признакам [1, с. 31]:

1. По наличию или отсутствию предела роста оптимизируемого ресурса (например, по численности населения);
2. По наличию одного или нескольких критериев оптимальности (например,



многокритериальные задачи учитывают факторы: природа – социум – экономика);

3. По выполнению критерия Парето (повышение параметра оптимизации в одних элементов происходит не за счёт их снижения у других элементов);

4. По наличию одного или нескольких оптимумов.

Однако в силу многомерности задач градостроительства их также подразделяют в зависимости от характера оптимизации и среды них выделяют такие важные направления:

- структурно-планировочные: уменьшение противоречий между транспортной и городской средой;

- транспортно-планировочные: улучшение условий транспортной доступности;

- экономические: экономия энергии и финансовых средств;

- экологические: озеленение и охрана природных (естественных) ресурсов и другое.

Все перечисленные задачи относятся к задачам оптимизации. Для их решения полезно прибегать к использованию математического аппарата решения оптимизационных задач.

В работе предпринята попытка параметризации оптимизационной задачи по планировке территории и построения её математической модели. Рассмотрены вопросы построения различных модификаций этой модели и включения таких задач в образовательный процесс будущих проектировщиков.

Математические методы оптимизации служат для количественного обоснования принятых решений. Среди них выделяют, в первую очередь, методы математического программирования, исследования операций, теории игр, методы принятия решения с учётом риска, статистические методы и другие.

При постановке задачи математического программирования возникают проблемы отбора одного из большого количества, зачастую противоречивых, критериев оптимальности.

Для решения этой проблемы на этапе выбора переменных задачи (параметризации) и отбора приоритетных критериев оптимальности необходимы совместные усилия специалистов-архитекторов и математиков.

Под параметризацией понимают процесс извлечения из данных наблюдений минимального набора наиболее существенных параметров, характеризующих изучаемую систему или процесс. Результаты качественно проведенной процедуры параметризации позволяют с определённой

точностью и надёжностью отобразить исследуемый объект или процесс.

Количественные методы оптимизации позволяют получить наилучшее решение задачи, выраженное совокупностью числовых значений неизвестных задачи и значением целевой функции. Однако, как было сказано, целевая функция обычно выбирается из множества возможных критериев и носит, таким образом, субъективный характер. Например, исследователь в качестве приоритетного критерия выбирает затраты, которые стремится минимизировать, но при этом пренебрегает качеством зрительной выразительности. Поэтому и на этапе принятия окончательного решения нужны дополнительные обсуждения и количественного, и качественного характера.

На современном этапе транспортно-планировочную структуру города рассматривают как сложную иерархическую систему, которую невозможно воспроизвести одной моделью [2, с. 193]. Поэтому прибегают к построению моделей разных уровней, между которыми устанавливаются связи и для каждой из которых используется свой математический аппарат.

Как на макроуровне, так и в его подсистемах необходимо учитывать следующие группы факторов: природно-экологические, социально-демографические и экономические. В последнее время в научной среде к этим факторам относят и геополитическую составляющую [1, с. 32].

Автором поставлена задача выбора оптимальных размеров функциональных зон рассматриваемых муниципальных образований, если известны предельные параметры их разрешённого использования при условии минимизации затрат на озеленение с определённого источника финансирования. Следует отметить, что процесс оптимизации можно ориентировать в разных направлениях, например на минимизацию загрязняющих атмосферу выбросов.

Для построения математической модели оптимизационной задачи необходимо определиться с исходными данными, ввести переменные задачи и их обозначения, исходя из систематизации этих задач. Эта информация строилась на основе градостроительной документации и сведена в таблицу 1.

В состав градостроительной документации входят проекты территориального планирования, проекты планировки территорий, градостроительного зонирования и комплексный проект управления градостроительным развитием поселения. Исходя из содержания и составляющих технического задания проекта на планировку



территории, авторы выделили ряд количественных характеристик оптимизационных задач градостроительства. В частности, с использованием этих параметров будет построена математическая модель выделенной авторами оптимизационной подзадачи по обеспечению озеленения при планировке территории.

В таблице 1 указаны переменные, введенные авторами для формализации оптимизационных задач по планировке территории:

– (i, I) – номер и множество типов муниципальных образований (муниципальный район, городской округ, внутригородской район, сельское поселение, городское поселение и другое);

– (j, J) – номер и множество видов градостроительного освоения территории (новое строительство, реконструкция, выборочное строительство, сложившаяся застройка);

– (l, L) – номер и множество функциональных зон;

Таблица 1

Исходные данные оценки эффективности процесса озеленения при планировке территории

№	Обозначения	Содержание
1	i	Номер типа муниципального образования
2	j	Номер вида градостроительного освоения территории
	T	Номер способа финансирования
3	l	Номер вида функциональной зоны
4	K_1	Номер вида жилой зоны
5	K_2	Номер вида общественно-деловой зоны
	K_3	Номер вида производственной зоны
	K_4	Номер вида ландшафтно-рекреационной зоны
6	K_5	Номер вида зоны с особыми условиями использования
7	K_6	Номер технических зон объектов транспортной и инженерной инфраструктур
8	$п$	Номер вида озеленения территории
9	I	Множество номеров типов муниципального образования
10	J	Множество номеров видов градостроительного освоения территории
	M	Множество номеров способов финансирования
11	L	Множество номеров видов функциональных зон
	K_1	Множество номеров видов жилых зон
12	K_2	Множество номеров видов общественно-деловых зон
13	K_3	Множество номеров видов производственных зон
14	K_4	Множество номеров видов ландшафтно-рекреационных зон
15	K_5	Множество номеров зон с особыми условиями использования
16	K_6	Множество номеров видов технических зон объектов транспортной и инженерной инфраструктур
17	N	Множество номеров видов озеленения территории
18	$P_i^{k_l}$	Население kl -й зоны i -го типа муниципальной территории, $l \in L$
19	$X_i^{k_l}$	Площадь kl -й зоны i -го типа муниципальной территории
	$r_i^{k_l}$	Доля территорий общего пользования kl -й зоны i -го типа муниципальной территории, $l \in L$
20	$\alpha_i^{k_l}$	Доля озеленённых территорий kl -й зоны i -го типа муниципальной территории в площади территорий общего назначения, $l \in L$
21	$v_{i,n}^{k_l}$	Доля n -го вида зелёных насаждений kl -й зоны i -го типа муниципальной территории (шт/чел),
22	$T_{i,n}^{k_l}$	Нормы зелёных насаждений n -го вида озеленения kl -й зоны i -го типа муниципальной территории (шт.), $l \in L$
23	$C_{i,m}^{k_l}$	Показатель затрат на озеленение и благоустройство территорий общего пользования kl -й зоны i -го типа муниципальной территории (по T -му способу финансирования) (у.е./га), $l \in L$
24	$S_i^{k_l}$	Нормативный показатель площади озеленения kl -й зоны i -го типа муниципальной территории (м ² /чел), $l \in L$
25	$a_{i1}^{k_l}, a_{i2}^{k_l}$	Предельные размеры kl -й зоны i -го типа муниципальной территории, $l \in L$

Источник: разработано автором.



– (k_p, Kl) – номер и множество видов l -ой функциональной зоны (жилые зоны, общественно-деловые зоны, производственные зоны, рекреационные зоны, зоны инженерной инфраструктуры, зоны транспортной инфраструктуры и другое);

– (m, M) – номер и множество способов финансирования (государство, муниципалитет, предприятие, зарубежные инвестиции и другое).

Исходя из поставленных условий и с учётом введённых обозначений, задачу оптимизации можно свести к поиску минимума целевой функции, определяющей затраты на озеленение территорий общего пользования всех функциональных зон данных видов муниципального образования:

$$C = \sum_{i \in I} \sum_{k_l \in K_l} C_{i,m}^{k_l} \cdot r_i^{k_l} \cdot X_i^{k_l} \rightarrow \min (m \in M).$$

При этом должны выполняться следующие условия:

1. Суммарная площадь озеленённых территорий общего пользования должна быть не меньше площади, рассчитанной по нормам озеленения (м²/чел) для данного вида территориального образования с учётом численности населения и нормативных характеристик озеленения разных функциональных зон (определяется как сумма площадей организованных зелёных насаждений: древесно-кустарниковых, газонов, цветников и другое):

$$\sum_{k_l \in K_l} \mu_i^{k_l} \cdot r_i^{k_l} \cdot X_i^{k_l} \geq \sum_{k_l \in K_l} S_i^{k_l} \cdot P_i^{k_l}, i \in I;$$

2. Не менее 50 % территории каждого жилого района должно быть занято зелёными насаждениями:

$$\alpha_i^{k_l} X_i^{k_l} \geq X_i^{k_1} / 2, i \in I;$$

3. Количество зелёных насаждений каждого вида должно соответствовать необходимым нормативным показателям:

$$v_{i,n}^{k_l} \cdot P_i^{k_l} \geq T_{i,n}^{k_l}, i \in I, k_l \in K_l, l \in L, n \in N;$$

4. Площадь каждой зоны выбранного муниципального образования должна соответствовать предельным показателям, рассчитанным по нормативным данным:

$$a_{i_1}^{k_l} \cdot X_i^{k_l} \leq a_{i_2}^{k_l}, i \in I, k_l \in K_l, l \in L.$$

Полученные в результате решения значения $X_i^{k_l}$ будут определять оптимальное решение задачи в поставленных условиях. На основе этой задачи можно формулировать её различные модификации с разными целевыми функциями, в том числе и при исследовании на максимум.

Постановку и решение таких задач полезно включать в образовательный процесс студентов архитектурно-градостроительной специальности. Как уже было отмечено, на современном этапе процесс включения математических знаний в структуру архитектурного образования является противоречивым, с низким уровнем прикладной направленности [3, с. 21].

Одним из подходов к решению этой проблемы, по мнению автора, является внедрение в учебный процесс междисциплинарных дисциплин. Приобретение междисциплинарных знаний реализуется через построение интегрированных технологий обучения и является одной из ключевых компетенций современного специалиста [4, с. 212].

В таблице 2 представлено краткое содержание авторской программы спецкурса «Оптимизационные методы в архитектурно-градостроительной практике».

Таблица 2

Тематический план дисциплины

№	Тема занятия	Использование ИКТ-технологий
1	Введение. Оптимизация архитектурно-градостроительного решения. Регион как объект оптимального планирования и моделирования	
2	Математические основы оптимизации	
3	Безусловная оптимизация. Методы классической оптимизации	
4	Теоретические основы условной оптимизации. Метод множителей Лагранжа	
5	Линейное программирование. Различные типы постановки задач ЛП. Задача про энергоэффективный дом	MS Excel Maple Math lab
6	Геометрический способ решения задач линейного программирования	MS Excel Maple Math lab
7	Симплекс-метод решения задач линейного программирования	MathCAD Math lab
8	Транспортная задача. Транспортные сети и задача сетевого планирования и управления	Math lab

Источник: разработано автором.



Такой спецкурс может быть разработан совместными усилиями специалистов-математиков и архитекторов и состоять из двух частей, связанных со спецификой архитектурной деятельности и математической части.

Проблема реализации межпредметных связей в процессе обучения многократно поднималась в мировой педагогике и отразилась в создании интегрированных технологий обучения. Интеграция в современных учебных процессах осуществляется по нескольким направлениями и на разных уровнях: внутривидовом и межпредметном.

Целью предложенной дисциплины является знакомство студентов с методами и приемами оптимизации архитектурных и градостроительных объектов, видами их классификации (часть специалистов-архитекторов), с математическими основами теории оптимизации и приобретения навыков их применения.

Важной составляющей должна стать прикладная направленность этой дисциплины. Речь идет о приобретении студентами навыков определения того, в каких случаях и какие методы следует применять для того или иного класса экстремальных задач, возникающих на разных этапах проектирования.

Важным навыком, который необходим будущим проектировщикам, является возможность учета специфики области применения методов оптимизации в архитектурно-градостроительной практике. Например, при оптимизации проектных решений жилых сооружений в качестве переменных задачи математического программирования обычно выбирают объемно-планировочные показатели. При этом целевую функцию определяют как величину затрат, которые необходимо минимизировать с учетом получения необходимой полезной площади (система ограничений). Система ограничений также может учитывать атмосферные, рельефные и другие факторы.

При оптимизации градостроительных решений целевую функцию определяют, например, как сумму всех затрат на реализацию функционального зонирования города.

Своя специфика существует в подходах при проектировании энергоэффективного строения. В обобщенном математическом виде целевую функцию для энергоэффективного дома можно записать так: $Q_{min} = F(a_i)$, где Q_{min} – минимальные затраты энергии на создание микроклимата в помещениях строения, a_i – показатели архи-

тектурных и инженерных решений строения, которые обеспечивают минимизацию затрат энергии.

Математическую модель теплового режима строения также можно поделить на несколько взаимосвязанных подмоделей. Такой подход позволит включить показатели теплоэнергетической эффективности оптимального учета влияния внешних климатических факторов, оптимального выбора тепло- и солнцезащитных характеристик ограждающих конструкций и систем обеспечения микроклимата.

Выводы:

1. Обоснована необходимость устранения противоречий между содержанием математического образования студентов архитектурно-градостроительной специальности и требованиями современного архитектурного проектирования.

2. Предложена модель, направленная на приобретение будущими проектировщиками междисциплинарных знаний путём внедрения спецкурсов прикладной направленности на основе интегрированных технологий.

3. Предложена авторская программа дисциплины «Оптимизационные методы в архитектурно-градостроительной практике», внедрение которой в учебный процесс направлено на ознакомление студентов с методами и приемами оптимизации архитектурных и градостроительных объектов, видами их классификации (часть специалистов-архитекторов), с математическими основами теории оптимизации и приобретения навыков их применения.

4. Проведён анализ задачи по планировке территории, поставлена задача математического программирования с предварительной параметризацией и построена её математическая модель.

5. Показаны подходы к построению различных модификаций рассмотренной задачи и указано на необходимость внедрения такого подхода в учебный процесс с целью повышения прикладной направленности процесса подготовки будущих проектировщиков.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мазаев А.Г. Методы и критерии оптимизации в современной теории расселения. Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 2. С. 100.
2. Михайлов О.В. Використання математичних методів для вирішення містобудівних завдань щодо організації транспортно-планувальної структури міста. Сучасне промислове та цивільне будівництво. 2016. Т. 12. № 4. С. 198.
3. Щелкунова Л.И., Аршава А.А., Шульгина С.С. Интегрированное обучение студентов-архитекторов на



основе создания спецкурса «Фрактальная геометрия». Современные проблемы естественных наук: Сборник тезисов докладов Международной конференции «Тараповские чтения». 2016. № 1. С. 108.

4. Щелкунова Л.И., Шульгина С.С. Про підходи до вдосконалення змісту навчальної дисципліни «Вища математика» для студентів архітектурних спеціальностей. Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики. Вип. IX. Кривий Ріг: Вид. відділ НМетАУ, 2011. С. 625.

5. Щелкунова Л.И. Дифференциальная геометрия и фрактальный анализ в архитектурном проектировании. Международная научно-практическая конференция «Наука в XXI веке: Проблемы и перспективы развития». № 2 (40). С. 124.

6. Велігоцька Ю.С. Сучасні методи оптимізації прийняття архітектурних рішень будівель. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2017. Вип. 47. С. 564.