

*В.В. Комяк, адъюнкт, НУГЗУ,
А.Н. Соболев, д.т.н., ст. научн. сотр., нач. кафедры, НУГЗУ,
А.Г. Коссе, к.т.н., доцент, доцент кафедры, НУГЗУ*

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ (ПЛАНОВ) ЭВАКУАЦИИ ДЛЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

В работе рассмотрены подходы к моделированию людских потоков при эвакуации. Ставится задача проектирования рациональных планов эвакуации и предлагается подход к определению структуры и размеров эвакуационных путей.

Ключевые слова: моделирование людских потоков, рациональные планы эвакуации

Постановка проблемы. Высотные здания становятся “визитными карточками” экономически развитых государств и представляют собой объединение удачных архитектурных решений и современных систем жизнеобеспечения граждан.

Проблема безопасности жизнедеятельности людей в высотных зданиях не решена. На сегодняшний день отсутствуют противопожарные нормы проектирования высотных зданий, проектирование осуществляется лишь по индивидуальным проектам.

При проектировании зданий предусматриваются специальные противопожарные решения, которые должны создать необходимые условия успешной реализации процесса эвакуации. Среди этих решений значение имеет как структура, так и размеры путей эвакуации. Поскольку пути эвакуации пронизывают все здание, а их площадь составляет значительную часть его общей площади, то их структура и размеры оказывают значительное влияние на экономические, технические и противопожарные показатели проектных решений. Однако проектные решения можно считать неэффективными, если решения безопасности людей будут приводить к неэффективному использованию объемов здания (или, другими словами, площадей целенаправленного назначения). Поэтому возникает задача о рациональном разбиении проектируемых высотных зданий на два вида областей: первые учитывают эффективность использования целенаправленной площади от решения задачи разбиения, а вторые – от решения задачи трассировки.

Анализ последних исследований и публикаций. Бесконечномерным задачам разбиения посвящена работа [1], конечномерные задачи разбиения в R^2 исследованы в работе [2]. Задачи трассировки с учетом геометрических характеристик трасс рассмотрены в рабо-

тах [3, 4]. Двухкритериальные задачи разбиения и трассировки в R^2 применительно к агропромышленному комплексу при паевании земельных угодий и прокладке вспомогательных трасс рассмотрены в работе [5].

Оценки эвакуационных планов связаны с использованием математического моделирования движения потоков людей внутри здания по сети коридоров и лестниц.

В работах [6-8] исследованы особенности оценки параметров движения людских потоков в различных зданиях, их коридорах, вестибюлях, лестничных клетках. Современный этап исследований характеризуется использованием ЭВМ, компьютерные имитационные модели эвакуации рассмотрены в [8].

Анализ работ [6-8] показывает, что не исследованы особенности движения людских потоков в высотных зданиях, когда определяющим при эвакуации становится время движения по лестничным клеткам, характерной чертой для которых является образование частей потоков с максимальной плотностью в местах слияния потоков на уровне выходов из этажей. Интерес представляет также рассмотрение в R^3 комплексной задачи разбиения области с учетом ее пространственной формы на подобласти с одновременной трассировкой, учитывающей геометрические параметры трассы и особенности движения потоков людей по ней, как оптимизационной задачи геометрического проектирования [9].

В связи с этим, актуальной является разработка подхода к решению двухкритериальной задачи разбиения области на подобласти и трассировки с учетом геометрических характеристик трасс в R^3 .

Постановка задачи и ее решение. Возникает следующая задача. Пусть для проектирования определены: трехмерный объект S_0 любой пространственной формы (в частном случае, параллелепипед), описывающий высотное здание, количество этажей в нем - N , помещения разного функционального назначения для каждого этажа с предполагаемым количеством людей в них и с заданным соотношением их площадей. Помещения могут быть предназначены для жилья, офисов, супермаркетов, кинотеатров, выставочных залов, паркингов и т.д. Проектировщик определяет места входа в здание $u_i(x_i, y_i, z_i), i = 1, \dots, n$, которые задаются диапазоном значений $(u_i - \Delta u_i, u_i + \Delta u_i), i = 1, \dots, n$ и которые определяют местоположение лестниц $L_i(x_i, y_i, z_i), i = 1, \dots, n$. Лестницы имеют форму прямоугольных параллелепипедов с размерами $(a_i, b_i, c_i), i = 1, \dots, n$. Внутри здания находятся лифты, шахты для которых имеют форму прямоугольных параллелепипедов, пронизывающих (пересекающих) все здание. В высотных домах предусматривается не меньше, чем два лифта: один эксплуатируется постоянно, а второй предназначен для подъема спа-

сательных подразделений и техники при чрезвычайных ситуациях. В высотных зданиях могут быть заданы некоторые укрепляющие здания колоны, а некоторые функциональные помещения этажей могут быть определены проектировщиками заранее и зафиксированы. Перечисленные выше объекты будем рассматривать, как области запрета $S_t, t = 1, \dots, m$.

Необходимо определить структуру путей эвакуационного движения потоков людей (минимальное количество лестниц и коридоры на этажах), обеспечивающие доступ ко всем помещениям и лифтам, метрические характеристики путей движения, чтобы максимальное время движения из любого этажа неоднородно расположенных в здании людей не превышало допустимого времени, осуществить разбиение этажей на помещения разного функционального назначения, чтобы полезно-используемая площадь была бы максимальной.

В работе [10] построена математическая модель сформулированной двухкритериальной задачи разбиения области на подобласти и трассировки с учетом геометрических характеристик трасс в R^3 .

В рассмотренной в [10] задаче искомые параметры по физическому смыслу разбиваются на параметры, характеризующие разбиение, и параметры, характеризующие трассировку. Предыдущая особенность положена в основу декомпозиции задачи на две взаимосвязанные подзадачи меньшей размерности: задачу разбиения и задачу трассировки. Установление приоритетов в решении этих двух задач приводит к целесообразности рассмотрения первой задачу разбиения, а затем на множестве подобластей и их границ – задачу трассировки. Рассматриваемая задача ставится в R^3 .

Задача разбиения в R^3 . Область S_0 разбивается на этажи разной высоты набором плоскостей, параллельных плоскости $\delta\theta\acute{o}$ (рис. 1). Высота подобласти задается ее функциональным наполнением (набором помещений разного функционального назначения с разным количеством людей в них). Таким образом, такое разбиение задает количество людей на каждом из этажей для задачи трассировки.

Задача трассировки в R^3 . Пусть в здании определено k лестниц (заданы их местоположение и минимальные размеры). Решается задача определения размеров (ширины) лестничных клеток. Размеры определяются исходя из условий равенства пропускных способностей участков лестничных клеток между этажами с учетом постоянного слияния людских потоков на этажах и беспрепятственного их движения. Другими словами, размеры лестничных клеток изменяются согласно закона изменения потока людей от этажа к этажу, т.е. их ширина увеличивается по этому закону при уменьшении этажности.

Поэтому возникает задача организации непрерывного потока

людей с допустимой плотностью $4 \frac{\text{чел}}{\text{м}^2}$ по лестничным клеткам при ограничении проектировщиками на их ширину.

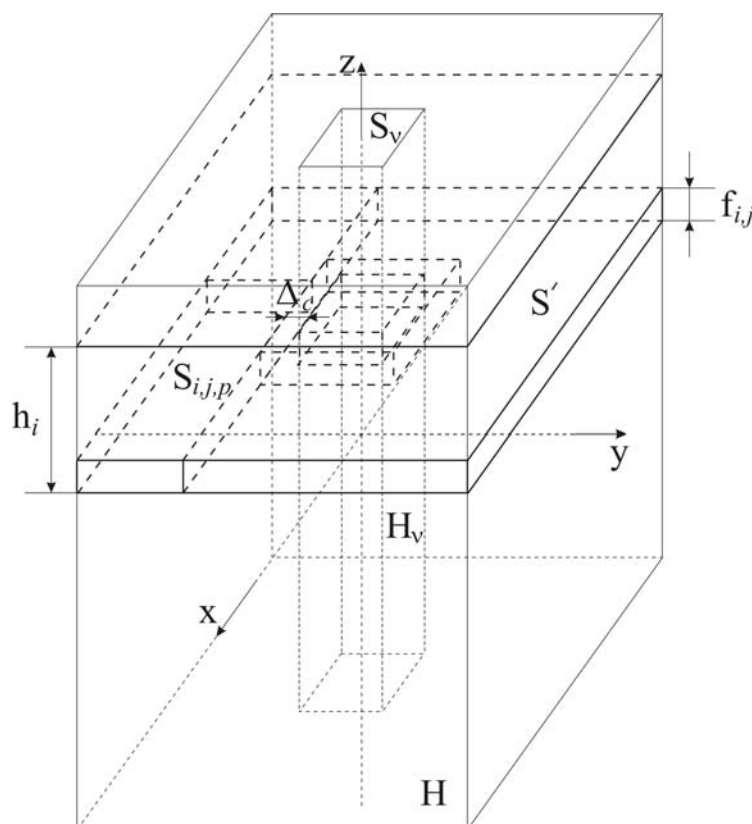


Рис. 1 – Разбиение заданной области на этажи и противопожарные отсеки

Однако, в силу большой размерности задачи и жесткой системы ограничений, сформулированную выше задачу можно представить в виде декомпозиции на N взаимосвязанных задач меньшей размерности в R^2 . При такой декомпозиции искомые параметры разбиваются на N подмножеств параметров, характеризующих разбиение и трассировку на каждом из этажей с сохранением приоритетности решения задач, а затем на множестве рекордных параметров разбиения и трассировки – решается задача в R^3 .

Задача разбиения в R^2 . Рассмотрим j -тый этаж S_{0j} здания, $j \in \{1, \dots, N\}$. Область S_{0j} имеет точки входа $u_i(x_i, y_i, \tilde{n}_{ij}), i = 1, \dots, n, j \in \{1, \dots, N\}$, которые являются началом для основных коридоров $\hat{E}_k, k \in \{1, 2, \dots, n\}$, определяемых ортогональными прямыми $(x = x_i - \frac{\Delta_{\min}}{2}, x = x_i + \frac{\Delta_{\min}}{2}), (y = y_i - \frac{\Delta_{\min}}{2}, y = y_i + \frac{\Delta_{\min}}{2})$, ширина которых задается исходя как из норм проектирования, так и из ширины коридоров, обеспечивающих выход людей за минимальное

время (при беспрепятственном движением потока людей). Область этажа (S_{0j}) без коридоров необходимо разбить на подобласти ортогональными (радиальными) прямыми согласно заданного соотношения площадей с соблюдением их минимальных значений для помещений разного функционального назначения. Полученное разбиение проверяется на выполнение норм проектирования. Если нормы проектирования не выполняются, то изменяется либо ширина коридора, либо смещается коридор в допустимых пределах, либо рассматривается другое его местоположение, либо другое их количество. В результате выбираются допустимые варианты разбиения области S_{0j} на подобласти $\bigcup_f S_{ff}$ (помещения разного функционального назначения) с основными коридорами.

Задача трассировки в R^2 . Осуществляется проверка, все ли помещения $\bigcup_f S_{ff}$ достигаемы из основных коридоров. Если условие не выполняется, необходимо решить задачу трассировки в R^2 для поиска вспомогательных коридоров.

Полученные варианты разбиения и трассировки для каждого из этажей согласуются для всех этажей с точки зрения равенства количества входов (лестниц), так и их местоположения.

Выводы. В статье представлена структура основного алгоритма для решения рассматриваемой задачи. В дальнейшем предполагается дополнить систему ограничений прикладной задачи, разработать ряд базовых алгоритмов, таких как проведение вспомогательных трасс для случая, когда разбиение осуществляется на подобласти произвольной формы; определение геометрических размеров трасс по допустимому времени полной эвакуации людей из этажа, здания, исходя из особенностей движения их потоков и норм проектирования и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселева Е.М. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения: Монография / Е.М. Киселева, Н.З. Шор. – К.:Наук. Думка, 2005.-564с.
2. Садковий В.П. Рациональне розбиття множин при територіальному плануванні в сфері цивільного захисту: Монографія / В.П. Садковий В.П., В.М. Комяк, О.М.Соболь. – Харків: Ліхтар, 2008. – 173 с.
3. Stoyan Yu. G. Elemental Basis of Numerical Geometry / Yu. G. Stoyan, S. V. Smelyakov // Computer Arithmetic und Enclosure Methods. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992. – P. 462–471.

4. Смеляков С. В. Моделирование пространства путей в задачах построения оптимальных траекторий / С. В. Смеляков, Ю. Г. Стоян. // Журнал вычисл. матем. и матем. физики. – 1983. – №1 – С. 73–82.

5. Путятин В.П. Математическая модель задачи оптимизации разбиений в АПК / В.П. Путятин, А.Б. Элькин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Х.: Нац. техн. ун-т «Харьк. политех. ин-т», 2007. – № 18. – С. 98–105.

6. Беляев С.В. Эвакуация людей массового назначения / С.В.Беляев. - М.,1938.

7. Предтеченский В.М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения / В.М. Предтеченский // Архитектурно-строительное образование и научные основы проектирования.-М. : Стройиздат, 1983.

8. Холщевников В.В. Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре / В.В. Холщевников. - Мин-во образования РФ, МВД РФ, МГСУ, МИПБ.- 1999.-92с.

9. Стоян Ю.Г. Основная задача геометрического проектирования / Ю.Г.Стоян. – Харьков: ИПМаш АН УССР, 1983. – 36 с. – (Препринт /ИПМаш АН Украины, №181).

10. Комяк В.М. Об одной задаче разбиения области на подобласти в R^3 /В.М. Комяк, В.П.Путятин, В.В.Комяк // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2012. -№45.- С.171-175.

nuczu.edu.ua

V.V. Komyak, O.M. Sobol, A.G. Kosse

Підхід до визначення раціональних шляхів (планів) евакуації для висотних будівель

В роботі розглянуто підходи до моделювання людських потоків при евакуації. Поставлено задачу проектування раціональних планів евакуації та запропоновано підхід до визначення структури і розмірів евакуаційних шляхів.

Ключові слова: моделювання людських потоків, раціональні плани евакуації.

V.V. Komyak, A.N. Sobol, A.G. Kosse

The method of defining rational ways (plans) evacuation for high-rise buildings

In this paper the methods of modeling people streams by evacuation are considered. Problem statement of construction rational plans evacuation is given. The method of defining structure and size evacuation ways is described.

Key words: modeling people streams, rational plans evacuation.