

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 3. С. 39–53.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (3): 39–53.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 712.3(510)

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-39-53

EDN: YSYCUK

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИХ СХЕМ И ИНСТРУМЕНТОВ ТЕОРИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СИНТАКСИСА

Дмитрий Сергеевич Целуйко, Арина Романовна Кирпо

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

Аннотация. В статье проанализированы три проекта объектов общественного питания (кафе на 75 человек), выполненных по идентичному техническому заданию, при помощи инструментов пространственного синтаксиса. В первой части дана общая характеристика работы и обзор литературы. Рассмотрены различные подходы к исследованию пространства как целостной структуры. Исследованы работы ученых по данной тематике, как отечественных, так и зарубежных, на основании чего выбран один из точных математических инструментов для анализа планировочной структуры. В работе приведены критерии, по которым будет оцениваться эффективность каждой планировочной структуры. Описан процесс создания графоаналитической модели каждого из примеров. В рамках синтаксического анализа основными величинами являются энтропия и интеграция, также приведен ступенчатый анализ глубины – j-граф. После описания результатов анализа каждого из объектов дано заключение.

Актуальность исследования состоит в разработке нового подхода к анализу планировочных структур с помощью инструментов пространственного синтаксиса и в выявлении наиболее структурированного пространства на основе результатов исследования.

Цель работы: выявление сходств и различий среди трех планировок, созданных по одинаковому техническому заданию, для изучения нюансов и особенностей проектирования, которые могут быть недоступны проектировщику без использования синтаксического анализа.

Методы: анализ источников и литературы по теме исследования; метод графоаналитического анализа; метод компьютерного моделирования; метод синтаксического анализа.

Результаты: подробно разобран метод синтаксического анализа с подбором инструментов и пространственных величин, подходящих именно для данных объектов. Описаны критерии и условия оценки эффективности планировочной структуры. Обозначен дальнейший вектор работ и показан потенциал синтаксического анализа как метода предпроектной оценки работы.

Ключевые слова: архитектура, кафе, планировочная структура, анализ, пространство, граф, графоаналитический метод, Rhinoceros, Grasshopper

Для цитирования: Целуйко Д.С., Кирпо А.Р. Исследование характеристик планировочной структуры с использованием графоаналитических схем и инструментов теории пространственного синтаксиса // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 39–53. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-39-53. EDN: YSYCUK

ORIGINAL ARTICLE

GRAPH-ANALYTIC MODELS AND SPACE SYNTAX TOOLS FOR PLANNING STRUCTURE CHARACTERIZATION**Dmitrii S. Tseluiko, Arina R. Kirpo***Pacific National University, Khabarovsk, Russia*

Abstract. Purpose: The aim of the work is to identify the similarity and difference between three layouts created by the same technical specifications in order to study the design parameters, which may be inaccessible to the designer without the syntactic analysis.

Methodology/approach: Different approaches are considered in relation to space as an integral structure. Entropy and integration are used for the syntactic analysis, and j-graph is used for the stepwise depth analysis. Investigated are different works, and the precise mathematical tools for the analysis of the planning structure are chosen. The paper proposes the criteria evaluation of the effectiveness of each planning structure. A graph-analytic model is created.

Research findings: The method of parsing is explained in detail, with the selection of tools and spatial values that are appropriate for the objects in question. Criteria and conditions for evaluating the planning structure effectiveness are described. A further vector of work is outlined and the potential of syntactic analysis as a method of pre-project evaluation of work is shown.

Originality: The paper proposes the criteria evaluation of the planning structure effectiveness. A graph-analytic model is created.

Keywords: architecture, planning structure, analysis, space, graph, graph-analytic model, Rhinoceros, Grasshopper

For citation: Tseluiko D.S., Kirpo A.R. Graph-analytic models and space syntax tools for planning structure characterization. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (3): 39–53. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-39-53. EDN: YSYCUK

Введение

Для проектирования зданий общественного питания в Российской Федерации существует множество нормативных документов, описывающих конструктивные, пожарные, инженерные и прочие части здания. Но практически нигде не сказано о структурном наполнении, топологических связях, соотношении основных блоков проекта и внутренних помещений между собой. Однако именно этот аспект во многом может определить эффективность планировочной структуры. Внутри здания происходит множество процессов: загрузка продуктов, сортировка, приготовление пищи, подача блюд и т. д., все это требует определенной последовательности расположения помещений. При этом в рамках строительных норм и правил, технологических процессов существует большое количество вариаций размещения пространств. В таких ситуациях архитектор опирается на свой опыт, который позволяет ему компактно и эффективно расположить все элементы структуры.

Синтаксический анализ

В современном мире опыт архитектора по эффективному планированию помещений может иметь математическое выражение в виде цифр, одним из таких способов для анализа и инструментом планирования является теория пространственного синтаксиса. Краткая история восприятия пространства, резуль-

татом эволюции которой стала теория пространственного синтаксиса, была описана ранее [2]. На основе исследованного материала в настоящей статье будет затронута в большей мере аналитическая часть теории синтаксиса. Конфигурационный (синтаксический) анализ, представленный методом пространственного синтаксиса, позволяет моделировать город, который связывает интуицию и науку, его можно использовать для проектирования и планирования городов, а также в исследовательских целях [6, 7, 8]. Разработанный Биллом Хиллером и его коллегами из Университетского колледжа Лондона, он применяется в урбанистике с 1980-х гг. Этот метод состоит из расчета конфигурационных пространственных отношений в искусственных средах.

Метод пространственного синтаксиса может применяться к широкому диапазону масштабов и уровней в исследовании искусственной среды Б. Халлера, С. Ииды и В. Нес – от архитектурного пространства до уровня мегаполиса [7, 9, 15, 16]. Различные научные работы по раскрытию потенциала пространственного синтаксиса сводятся к описанию базовых понятий, в их числе регрессионная модель (Б. Халлер А. Пэн [10]), расширенная осевая линия, включающая трехмерные топографические изменения в пространстве (Ю. Асами, А. Кубат [4]), или использование пространственного синтаксиса в трехмерном параметрическом проектировании (З. Сиэ [17]).

Создание графоаналитической схемы и скрипта

Существует огромное количество вариаций проектов зданий, созданных архитекторами, по-своему организующих пространство и топологические связи в функциональной схеме здания. Все это в рамках технического задания может приводить к созданию различных планировочных решений, каждое из которых будет верным и соответствовать заданию. Однако не существует унифицированной схемы помещений, поскольку каждый проект уникален и имеет неповторимые планировочные решения, зависящие от множества факторов [3].

Объект общественного питания является одним из примеров сочетания множества функций на небольшой территории. Особенность такого типа объекта заключается в необходимости создания большого количества отдельных помещений, соединенных единым технологическим процессом. Рассмотрев схему синтаксического анализа на данных примерах, можно применить ее на более крупных объектах.

В настоящем исследовании на основе рассмотрения трех объектов предпринята попытка выявить наиболее эффективную планировку кафе. Подразумевается определенный набор пространственных величин (глубина, энтропия и интеграция), свидетельствующих о близости помещений внутри каждого из функциональных блоков и наиболее структурированной компоновки этих блоков. Данные величины позволяют выявить объект, наиболее удобный для использования, приспособленный для ускорения всех производственных процессов и понятный для восприятия [7].

Наиболее «верная» планировка подразумевает наличие кратчайшего структурного пути от зоны загрузки до зала с посетителями. Также следует учитывать и пространственные характеристики всех помещений зоны кухни, администрации и хранения. Исходя из технического задания, все объекты зо-

ны кухни располагаются не в одном большом пространстве, а в отдельных помещениях. Большая часть из них связана через коридор и не имеет прямого прохода. Их пространственные величины должны быть максимально идентичны друг другу, что будет свидетельствовать о равномерном распределении помещений в планировке. При этом коридоры или другие транзитные помещения будут иметь множество связей и, следовательно, высокие показатели. Однако наименьшая разница в минимальном и максимальном значении свидетельствует о равномерной структуре пространства [7, 8, 16].

Наименьшее количество уровней j-графа является хорошим показателем, дающим визуальное представление о наикратчайших связях помещений и отсутствии «глубоких» (отстраненных) комнат. Распределение функций на разных уровнях графика свидетельствует об их структурном разделении, что является комфортным фактором для рабочих процессов.

Таким образом, можно выделить положительные критерии планировочной структуры, которые были использованы при синтаксическом анализе:

- наименьший диапазон для каждой из пространственных величин;
- объекты одной функциональной зоны должны иметь сходные пространственные значения;
- наименьшее количество уровней j-графа;
- функциональные зоны должны находиться на различных уровнях j-графа.

В рамках теории синтаксиса существует множество инструментов и методик для анализа, в данном случае будет использован Convex map (выпуклая карта), т. е. представление плана как набора связанных между собой пространств. В отличие от Axial map и Iso vision map, которые предназначены для анализа городской структуры, выбранный метод способен показать более точные результаты в замкнутых пространствах [6, 14, 15, 16].

Существует большое количество программ для синтаксического анализа: QGIS, UCL, depthmapX и др. Однако для решения поставленной задачи наиболее подходящим является Rhinoceros вместе с дополнением Grasshopper, т. к. в программе имеется наиболее развитое проектирование с помощью скриптов и существует большое количество аналитических инструментов. В данном исследовании была использована часть разработок Пируза Нуриана и Самане Резвани, основанная на теории графов (графоаналитическое представление). Для данного типа исследований этот выбор является наиболее верным, исходя из целей исследования [2, 12, 13].

Для понимания планировочных процессов и использования инструментов пространственного синтаксиса для анализа необходимо рассмотреть процесс создания графоаналитических схем (рис. 1). Основная суть этого процесса заключается в выявлении вершин и ребер – элементов графа. В контексте данного исследования вершинами являются внутренние помещения. Поскольку графоаналитическая схема – это топологическое представление пространства, расположение вершин в пространстве не привязано к реальным размерам, и условно каждая вершина расположена в центре помещения, к которому она относится. Ребра – это транзитные связи между помещениями, которые соединяют вершины. Используя особенности топологического представления,

связи между пространствами не отображают реальную картину. Они показывают лишь линии кратчайшего сообщения между вершинами, а не реальные маршруты [1, 5].

В статье рассмотрено три примера студенческих проектов здания общественного питания (кафе на 75 посетителей). Для всех студентов было составлено единое техническое задание для объекта с идентичными блоками и внутренними помещениями, в результате были созданы совершенно уникальные планы. Каждый из планов имеет определенный набор функциональных блоков: административный, складской, блок кухни, блок персонала, блок загрузки, блок посетителей, а также набор внутренних помещений, соответствующих техническому заданию. Все проекты являются одноэтажными, но в примере 1 (рис. 2) и примере 2 (рис. 5) существует второй этаж, на котором расположен небольшой бар, состоящий из барной стойки и зала. Поскольку они имеют свою линию загрузки, для удобства анализа они были исключены из общей структуры плана.

Следующим этапом работы является загрузка графа аналитической схемы в программу Rhinoceroses, где каждой вершине и ребру будет присвоена соответственно функция внутри приложения Grasshopper (рис. 1). Разработанный скрипт позволяет получить четыре пространственные величины: энтропия, интеграция, контроль и выбор. В данном исследовании наибольший интерес представляют параметры энтропии и интеграции, т. к. они показывают свойства планировочной структуры, ее неоднородность и сложность [7, 12]. Показатели контроля и выбора не представляют большого интереса для данной работы, они обусловлены возможностью перехода из одного помещения в другое и имеют локальный характер. В основном их используют для выявления типологических сходств и различий [7, 8, 14].

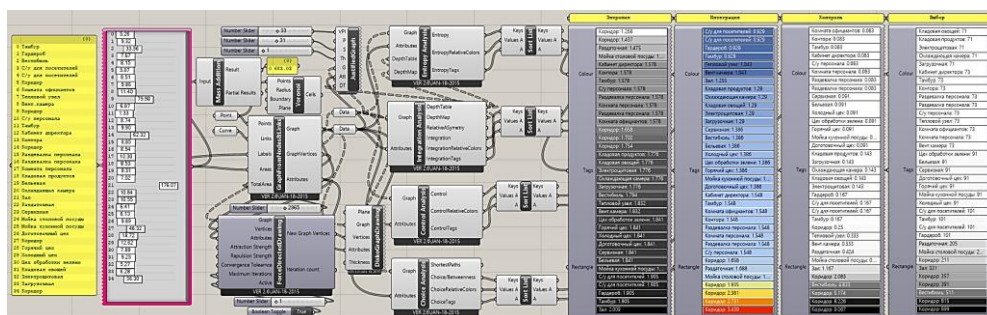


Рис. 1. Скрипт в программе Grasshopper
Fig. 1. Grasshopper language script

Интеграция (Integration) – это переменная, выражающая связь пространства с другими участками, окружающими его. Это ключевой параметр, ведущий к пониманию отношений, существующих между пользователями и городскими пространствами. Она может быть использована для прогнозирования потенциала встреч в пространстве, потому что напрямую связана с присутствием людей в данном месте. Чем больше интеграция пространства,

тем больше людей появится в нем. По этой причине интеграция иногда называется доступностью. Во всех исследованиях результаты подтверждают, что существует взаимосвязь между интеграцией пространства и присутствием в нем людей. Наиболее важным наблюдением является тот факт, что осевая система приведет пользователей к более интегрированным пространствам. Аналогичным образом, если меньшая интеграция означает меньшее присутствие человека и неконтролируемое пространство, это увеличивает шансы на преступное и антисоциальное поведение в таких структурах. В различных исследованиях расчеты интеграции могут различаться в зависимости от типа анализа. Но, несмотря на различные методики вычисления, конечные результаты часто схожи. Для расчета интеграции используется формула, выведенная Гертом Сабидусси [7]:

$$\text{Integration} = \frac{1}{\sum_k d_{ik}},$$

где d_{ik} является кратчайшим путем от участка i к участку k .

Интеграция бывает двух типов: локальная и глобальная. В данном исследовании из-за небольшой площади объекта будет использована только глобальная интеграция [7, 8].

Энтропия (Entropy) – это отношение глубины исследуемой зоны в пространстве относительно корневого пространства. Энтропия напрямую зависит от распределения глубины пространств рядом расположенных объёмов. При равномерном размещении элементов в структуре энтропия будет выше, при хаотичном расположении показатель будет ниже. Данная величина способна выражать культурно-топологические различия между пространственными схемами [7, 8, 9].

Глубина (Depth) определяется как наименьшее количество синтаксических шагов (в топологическом смысле), которые необходимы для достижения одного пространства и другого. Для расчетов глубины используют justified graph, или j-граф. Он дает представление о том, как выглядит вся конфигурация из конкретного пространства. Пространственная компоновка любого объёма не только выглядит по-разному, но и отличается в зависимости от точки, с которой рассматривается вся конфигурация. Данный инструмент также демонстрирует коммуникативность каждого из пространств, показывает количество его связей с элементами, находящимися на различных уровнях глубины. Распределение глубин, отображаемое через j-графы и лежащее в основе как архитектурных, так и геометрических схем, фактически является самой фундаментальной идеей в количественном измерении свойств конфигурации пространственных или формальных комплексов [8, 9, 11].

Большая часть помещений в проектах имеет одну или две связи. Диапазон контроля в большей части помещений варьируется от 0,08 до 1,4. В коридорах, как самых проходных пространствах, он равен 5–8 единицам. Аналогичная ситуация с выбором: основной диапазон по зданиям – 70–140, в коридорах и залах показатель доходит до отметок 400–900 единиц. В таблице показано количество помещений каждого из примеров с разбивкой по функциональным зонам, выявлено общее число связей и определены их типы. Не-

смотря на одинаковое количество помещений, каждый из примеров имеет различные по количеству комнат блоки и число связей.

Разделение помещений по функциям и связи между ними

Room division by functions and correlation between them

Функциональная зона	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Транзитная зона	3	5	3
Административная зона	3	3	2
Зона кухни	8	8	10
Складская зона	7	5	6
Зона персонала	5	5	9
Зона посетителей	6	6	6
Техническая зона	3	3	3
Всего помещений	35	35	39
Связи между помещениями одной функции	7	10	7
Связи между помещениями с различными функциями	31	27	33
Всего связей	38	37	40

Глубина, являясь важной пространственной величиной, во многом схожа по своим результатам с интеграцией, а рассматриваемое пространство слишком мало, чтобы система отобразила весомые различия между этими показателями.

Поэтому числовой показатель глубины не учитывался, но для наглядности структуры пространства представлена схема j-граф, где корнем пространства (нулевым уровнем) является зона загрузки. Это сделано для наглядного отображения технологической схемы: от поступления продукта в кафе до его подачи в зал. В данном случае учитывалось количество пространственных ступеней и расположение помещений различных функциональных зон.

Пример 1. В результате анализа интеграции можно сделать вывод, что наиболее интегрированным помещением являются коридоры, расположенные между зоной загрузки и залом для посетителей, т. е. они являются наиболее посещаемыми и имеющими доступ ко всем помещениям объемами. Наибольший показатель интеграции достигает 2,653, а наименьшая величина имеется у санузла для посетителей, она составляет 0,815 (рис. 2–4).

Идентичные выводы можно сделать, опираясь на анализ энтропии: коридоры обладают наименьшими показателями, самыми «не системными» помещениями являются объекты блока персонала. Можно отметить также и идентичные показания у многих помещений, относящихся к определенным функциям. Помещение кухни, а также складские и загрузочные пространства имеют во многом идентичные параметры за исключением единичных помещений. Также и административный блок имеет отличные от других результаты, но между собой они схожи. На основании этого сравнения можно сделать

вывод, что помещения одинаково доступны и интегрированы в рамках своего блока. Параметры энтропии во многом схожи с графиком глубины, на котором представлено пять уровней (рис. 3). На j-графе отчетливо видно, что каждый уровень занят отдельной функциональной группой, что говорит об их удобстве в использовании (рис. 4).



Рис. 2. План и граф примера 1 с выделением функциональных зон
Fig. 2. Layout and graph of example 1 with functional zones

Энтропия	Интеграция	Контроль	Выбор
Коридор: 1.39 Камера отходов: 1.508 Кладовая сухих продуктов: 1.508 Охлаждающая камера: 1.508 Кладовая овощей: 1.508 Коридор: 1.524 Холодный цех: 1.669 Мойка кухонной посуды: 1.669 Моечная и кладовая тары: 1.669 Сервизная: 1.669 Бельевая: 1.669 Цех обработки зелени: 1.669 Доготовочный цех: 1.669 Загрузочная: 1.702 Горячий цех: 1.754 Вент.камера: 1.781 Мойка столовой посуды: 1.781 Зал: 1.839 Раздаточная: 1.861 Коридор: 1.995 Тамбур: 2.133 Кабинет директора: 2.133 Электрощитовая: 2.133 Контора: 2.133 Тепловой узел: 2.133 Комната персонала: 2.133 С/у персонала: 2.133 Мужская раздевалка: 2.133 Женская раздевалка: 2.133 Комната официантов: 2.133 Вестибюль: 2.174 С/у для посетителей: 2.277 Тамбур: 2.277 Гардероб: 2.277 С/у для посетителей: 2.277	С/у для посетителей: 0.815 Тамбур: 0.815 С/у для посетителей: 0.815 Гардероб: 0.815 Вент.камера: 1.119 Женская раздевалка: 1.132 Комната официантов: 1.132 Комната персонала: 1.132 Тамбур: 1.132 Мужская раздевалка: 1.132 С/у персонала: 1.132 Кабинет директора: 1.132 Электрощитовая: 1.132 Тепловой узел: 1.132 Контора: 1.132 Вестибюль: 1.146 Кладовая сухих продуктов: 1.346 Камера отходов: 1.346 Охлаждающая камера: 1.346 Цех обработки зелени: 1.366 Холодный цех: 1.366 Мойка кухонной посуды: 1.366 Доготовочный цех: 1.366 Сервизная: 1.366 Моечная и кладовая тары: 1.366 Бельевая: 1.366 Горячий цех: 1.386 Мойка столовой посуды: 1.386 Раздаточная: 1.522 Зал: 1.658 Загрузочная: 1.857 Коридор: 1.895 Коридор: 2.579 Коридор: 2.653	Холодный цех: 0.077 Мойка кухонной посуды: 0.077 Доготовочный цех: 0.077 Сервизная: 0.077 Моечная и кладовая тары: 0.077 Бельевая: 0.077 Цех обработки зелени: 0.077 Мужская раздевалка: 0.091 С/у персонала: 0.091 Тепловой узел: 0.091 Электрощитовая: 0.091 Женская раздевалка: 0.091 Контора: 0.091 Комната персонала: 0.091 Комната официантов: 0.091 Кабинет директора: 0.091 Тамбур: 0.091 Кладовая сухих продуктов: 0.143 Камера отходов: 0.143 Охлаждающая камера: 0.143 Кладовая овощей: 0.143 Гардероб: 0.2 С/у для посетителей: 0.2 С/у для посетителей: 0.2 Тамбур: 0.2 Мойка столовой посуды: 0.2 Вент.камера: 0.333 Горячий цех: 0.41 Раздаточная: 0.827 Зал: 1.11 Загрузочная: 1.22 Вестибюль: 4.25 Коридор: 4.501 Коридор: 9.06 Коридор: 10.143	Кладовая сухих продуктов: 69 Мужская раздевалка: 69 С/у персонала: 69 Камера отходов: 69 Сервизная: 69 Кладовая овощей: 69 Тамбур: 69 Комната персонала: 69 Электрощитовая: 69 Тепловой узел: 69 Контора: 69 Вент.камера: 69 Комната официантов: 69 Женская раздевалка: 69 Кабинет директора: 69 Доготовочный цех: 69 Охлаждающая камера: 69 Цех обработки зелени: 69 Мойка кухонной посуды: 69 Моечная и кладовая тары: 69 Бельевая: 69 Холодный цех: 69 Тамбур: 71 С/у для посетителей: 71 С/у для посетителей: 71 Тамбур: 71 Мойка столовой посуды: 71 Гардероб: 71 Горячий цех: 81 Раздаточная: 83 Загрузочная: 135 Вестибюль: 331 Зал: 373 Коридор: 639 Коридор: 739 Коридор: 829

Рис. 3. Результаты синтаксического анализа примера 1
Fig. 3. Syntactic analysis of example 1

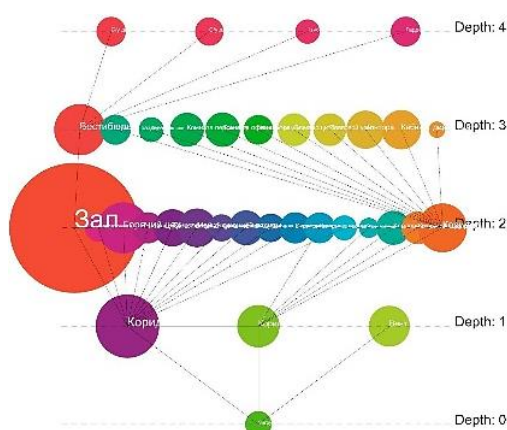


Рис. 4. J-граф для примера 1

Fig. 4. J-graph for example 1

Пример 2. Особенностью данного плана является кольцевая структура его рабочей зоны, т. е. коридор является нелинейным, а представляет собой замкнутый контур, за счёт чего показатели могут отличаться от других примеров (рис. 5–7).



Рис. 5. План и граф примера 2 с выделением функциональных зон

Fig. 5. Plan and graph for example 2 with functional zones

На рисунке видно, что наиболее интегрированным помещением является коридор в административной зоне. Все помещения (складское, кухонных зон) имеют довольно низкий показатель интеграции, в то время как административная и служебная зоны имеют повышенную интеграцию. Максимальное значение интеграции – 3,439, минимальное – 0,929. Анализ энтропии показывает, что помещение с меньшим показателем – коридор служебной части (1,269). Элемент системы с таким показателем можно расценивать как самый стабильный – центр структуры. В данном случае участок коридора является основным связующим звеном всего здания. Также можно заметить группировку помещений одной

функции в таблице по схожим показателям (рис. 7). J-граф имеет 6 уровней, большая часть элементов размещена на одном уровне, что свидетельствует о плотной структуре и в дальнейшем может негативно сказаться на рабочем процессе (рис. 6). Стоит отметить, что зал для посетителей расположен на предпоследнем уровне, т. е. топологическое расстояние до него идентично примеру 1.

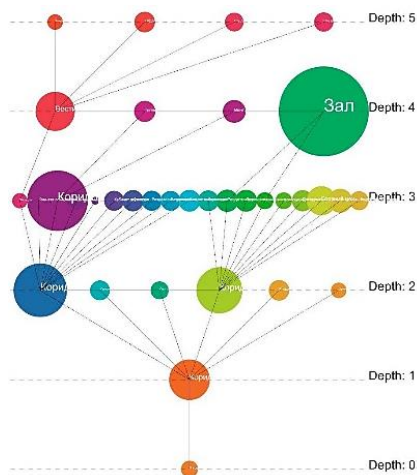


Рис. 6. J-граф для примера 2
Fig. 6. J-graph of example 2

Энтропия	Интеграция	Контроль	Выбор
Коридор: 1.268 Коридор: 1.437 Раздаточная: 1.475 Мойка столовой посуды: 1... Кабинет директора: 1.578 Контора: 1.578 Тамбур: 1.578 С/у персонала: 1.578 Раздевалка персонала: 1.578 Комната персонала: 1.578 Раздевалка персонала: 1.578 Комната официантов: 1.578 Коридор: 1.658 Коридор: 1.702 Коридор: 1.754 Кладовая продуктов: 1.776 Кладовая овощей: 1.776 Электрощитовая: 1.776 Охлаждающая камера: 1.776 Загрузочная: 1.776 Вестибюль: 1.794 Тепловой узел: 1.832 Вент.камера: 1.832 Цех обработки зелени: 1.841 Горячий цех: 1.841 Холодный цех: 1.841 Доготовочный цех: 1.841 Сервизная: 1.841 Бельевая: 1.841 Мойка кухонной посуды: 1... С/у для посетителей: 1.905 Гардероб: 1.905 Тамбур: 1.905 Зал: 2.009	С/у для посетителей: 0.929 С/у для посетителей: 0.929 Гардероб: 0.929 Тамбур: 0.929 Тепловой узел: 1.043 Вент.камера: 1.043 Зал: 1.255 Кладовая продуктов: 1.29 Охлаждающая камера: 1.29 Кладовая овощей: 1.29 Электрощитовая: 1.29 Загрузочная: 1.29 Сервизная: 1.386 Вестибюль: 1.386 Бельевая: 1.386 Холодный цех: 1.386 Цех обработки зелени: 1.386 Горячий цех: 1.386 Мойка кухонной посуды: 1... Доготовочный цех: 1.386 Кабинет директора: 1.548 Тамбур: 1.548 Комната официантов: 1.548 Контора: 1.548 Раздевалка персонала: 1.548 Комната персонала: 1.548 Раздевалка персонала: 1.548 С/у персонала: 1.548 Коридор: 1.658 Раздаточная: 1.688 Мойка столовой посуды: 1... Коридор: 1.935 Коридор: 2.381 Коридор: 2.731 Коридор: 3.439	Комната официантов: 0.083 Контора: 0.083 Тамбур: 0.083 Кабинет директора: 0.083 С/у персонала: 0.083 Комната персонала: 0.083 Раздевалка персонала: 0.083 Раздевалка персонала: 0.083 Сервизная: 0.091 Бельевая: 0.091 Холодный цех: 0.091 Цех обработки зелени: 0.091 Горячий цех: 0.091 Мойка кухонной посуды: 0... Доготовочный цех: 0.091 Кладовая продуктов: 0.143 Загрузочная: 0.143 Охлаждающая камера: 0.143 Кладовая овощей: 0.143 Электрощитовая: 0.143 Гардероб: 0.167 С/у для посетителей: 0.167 С/у для посетителей: 0.167 Тамбур: 0.167 Коридор: 0.25 Тепловой узел: 0.333 Вент.камера: 0.333 Раздаточная: 0.424 Мойка столовой посуды: 0... Зал: 1.167 Коридор: 2.083 Вестибюль: 4.833 Коридор: 5.174 Коридор: 8.226 Коридор: 9.067	Кладовая овощей: 71 Кладовая продуктов: 71 Электрощитовая: 71 Охлаждающая камера: 71 Загрузочная: 71 Кабинет директора: 73 Тамбур: 73 Контора: 73 Раздевалка персонала: 73 Раздевалка персонала: 73 Раздевалка персонала: 73 С/у персонала: 73 Тепловой узел: 73 Комната официантов: 73 Комната персонала: 73 Вент.камера: 73 Цех обработки зелени: 91 Бельевая: 91 Сервизная: 91 Доготовочный цех: 91 Горячий цех: 91 Мойка кухонной посуды: 91 Холодный цех: 91 С/у для посетителей: 101 Тамбур: 101 С/у для посетителей: 101 Гардероб: 101 Раздаточная: 205 Мойка столовой посуды: 2... Коридор: 211 Зал: 331 Коридор: 357 Коридор: 391 Вестибюль: 511 Коридор: 815 Коридор: 899

Рис. 7. Результаты синтаксического анализа примера 2
Fig. 7. Syntactic analysis of example 2

Пример 3. Отличительной особенностью данного плана является цикличность пространства и протяженный служебный коридор, соединяющий практически все служебные помещения (рис. 8–10). Эти характеристики планировочной структуры оказывают большое влияние на пространственные величины.

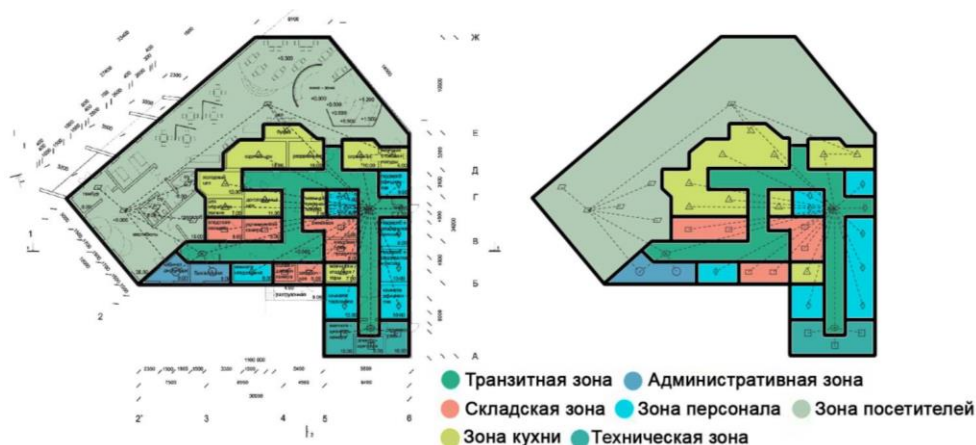


Рис. 8. План и граф примера 3 с выделением функциональных зон

Fig. 8. Plan and graph of example 3 with functional zones

Энтропия	Интеграция	Контроль	Выбор
Зал: 0.965 Коридор: 1.035 Буфет: 1.048 Бухгалтерия: 1.118 Моечная столовой посуды... Коридор: 1.196 Кабинет директора: 1.339 Моечная кухонной посуды... С/у персонала: 1.353 С/у персонала: 1.353 Гардероб официантов: 1.3... Тамбур: 1.353 Бельевая: 1.353 Цех обработки зелени: 1.3... Раздаточная: 1.353 Горячий цех: 1.353 Холодный цех: 1.353 Кладовая овощей: 1.353 Охлаждающая камера: 1.3... Доготовочный цех: 1.353 Раздевалка женская: 1.353 Моечная и кладовая тары... Комната персонала: 1.353 Загрузочная: 1.353 Комната кладовщика: 1.353 Охлаждающая камера: 1.3... Комната официантов: 1.353 Раздевалка мужская: 1.353 Кладовая сухих продуктов... Сервизная: 1.413 Коридор: 1.465 Вестибюль: 1.497 Электрощитовая: 1.548 Вент.камера: 1.548 Тепловой узел: 1.548 Тамбур: 1.604 С/у посетителей: 1.604 Гардероб: 1.604 С/у посетителей: 1.604	С/у посетителей: 1.114 Гардероб: 1.114 С/у посетителей: 1.114 Тамбур: 1.114 Электрощитовая: 1.299 Вент.камера: 1.299 Тепловой узел: 1.299 Бухгалтерия: 1.436 Буфет: 1.455 Моечная столовой посуд... Кабинет директора: 1.605 Вестибюль: 1.789 Бельевая: 2.059 Кладовая овощей: 2.059 С/у персонала: 2.059 С/у персонала: 2.059 Моечная кухонной посуд... Охлаждающая камера: 2.0... Раздаточная: 2.059 Горячий цех: 2.059 Цех обработки зелени: 2.0... Доготовочный цех: 2.059 Холодный цех: 2.059 Охлаждающая камера: 2.0... Комната официантов: 2.059 Комната персонала: 2.059 Загрузочная: 2.059 Моечная и кладовая тары... Раздевалка мужская: 2.059 Комната кладовщика: 2.059 Гардероб официантов: 2.0... Тамбур: 2.059 Кладовая сухих продуктов... Раздевалка женская: 2.059 Сервизная: 2.14 Коридор: 2.322 Коридор: 2.798 Зал: 2.872 Коридор: 6.821	С/у персонала: 0.038 С/у персонала: 0.038 Моечная кухонной посуд... Моечная и кладовая тары... Комната персонала: 0.038 Бельевая: 0.038 Раздевалка женская: 0.038 Тамбур: 0.038 Гардероб официантов: 0.0... Комната официантов: 0.038 Раздевалка мужская: 0.038 Цех обработки зелени: 0.0... Холодный цех: 0.038 Раздаточная: 0.038 Кладовая сухих продуктов... Горячий цех: 0.038 Доготовочный цех: 0.038 Охлаждающая камера: 0.0... Загрузочная: 0.038 Комната кладовщика: 0.038 Охлаждающая камера: 0.0... Кладовая овощей: 0.038 С/у посетителей: 0.143 С/у посетителей: 0.143 Гардероб: 0.143 Тамбур: 0.143 Электрощитовая: 0.25 Тепловой узел: 0.25 Бухгалтерия: 0.25 Буфет: 0.25 Вент.камера: 0.25 Кабинет директора: 0.393 Сервизная: 0.538 Моечная столовой посуд... Зал: 1.681 Коридор: 1.681 Коридор: 2.798 Вестибюль: 5 Коридор: 23.25	Кабинет директора: 77 Буфет: 83 Бухгалтерия: 85 Тамбур: 89 Охлаждающая камера: 89 Раздевалка женская: 89 Электрощитовая: 89 Комната официантов: 89 Раздевалка мужская: 89 Кладовая овощей: 89 С/у персонала: 89 С/у персонала: 89 Гардероб официантов: 89 Моечная кухонной посуды... Бельевая: 89 Тепловой узел: 89 Цех обработки зелени: 89 Холодный цех: 89 Комната кладовщика: 89 Кладовая сухих продуктов... Горячий цех: 89 Раздаточная: 89 Комната персонала: 89 Вент.камера: 89 Доготовочный цех: 89 Охлаждающая камера: 89 Загрузочная: 89 Моечная и кладовая тары... Гардероб: 135 С/у посетителей: 135 С/у посетителей: 135 Тамбур: 135 Моечная столовой посуды... Сервизная: 159 Коридор: 341 Коридор: 503 Зал: 527 Вестибюль: 669 Коридор: 1709

Рис. 9. Результаты синтаксического анализа примера 3

Fig. 9. Syntactic analysis of example 3

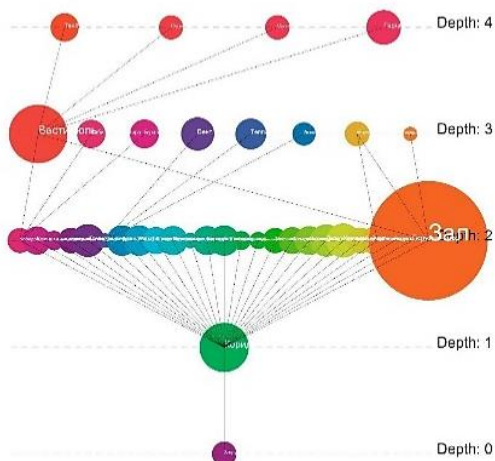


Рис. 10. J-граф для примера 3

Fig. 10. J-graph of example 3

Исследуя показатели интеграции, можно сделать вывод, что график распределения значений весьма неравномерный, наиболее интегрированным помещением является часть коридора в зоне кухни (6.821), зона с наименьшим показателем интеграции – главных вход (1.114).

Если помещения в служебном, складском и административном блоках имеют по большей части идентичные значения, то объекты в зоне кухни имеют различные показатели интеграции. Это может быть вызвано тем, что некоторые из помещений напрямую сообщаются со складской зоной, тем самым образуя новые связи и повышая интеграцию. На изображении (рис. 9) показателей энтропии мы можем видеть похожий оттенок у всех помещений кухонного, складского и административного блоков, что говорит о примерно одинаковой доступности в рамках рабочей зоны. J-граф выявил пять уровней глубины: практически все рабочие и складские помещения расположены на среднем уровне. Длинный коридор, не разделенный на отдельные блоки, а также кольцевое сообщение помещений внутри здания являются определяющими факторами планировки. В связи с этим технологические процессы в рамках здания могут пересекаться и затруднять работу друг друга (рис. 10).

Выводы

Находясь на стыке естественных, социальных и технических наук, синтаксический анализ позволяет по-новому взглянуть на планировочную структуру объекта, выявить различные пространственные величины, которые проявляют свойства планировки, недоступные при визуальном осмотре проекта.

В результате анализа трех планировочных структур можно сделать следующий вывод: первый пример имеет наименьшее разницу показателей интеграции – 0,8–2,6, показатели энтропии – 1,4–2,8. Эти диапазоны являются наименьшими среди исследуемых объектов, что говорит о наиболее эффективной разбивке внутренних помещений и связи между ними. Это способ-

ствуется наиболее удобной организации рабочего процесса внутри каждого из функциональных блоков. Результат анализа j-графа, на котором помещения распределены на разных уровнях, также подтверждает это.

Пример номер 2 отличается кольцевой структурой коридора, однако внутренняя разбивка сделана таким образом, что диапазон значений интеграции 0,9–3,4 и энтропии 1,3–2 превышает показатели первого примера. В данном объекте j-граф выявил шесть уровней глубины, что является самым большим показателем. Распределение функций на графике неравномерно, это говорит о пересечении рабочих процессов внутри помещений.

Пример номер 3 имеет самый высокий диапазон пространственных значений: интеграция – 1,1–6,8, энтропия – 0,9–1,6. Такое высокое значение интеграции вызвано длинным коридором, который соединяет множество функций и не разделен внутренними перегородками, как это сделано в предыдущих примерах. В рамках настоящего исследования это является негативным фактором, отрицательно сказывающимся на работоспособности и удобстве использования здания. J-граф представлен пятью уровнями, большая часть помещений расположена на среднем уровне. Это обусловлено единым пространством коридора.

Таким образом, исследование планировочных структур показало, что наиболее эффективной является планировка в первом примере, за ним следует второй, а самым неэффективным оказался третий. Исправить данную ситуацию в первую очередь можно разделением большого коридора, повторным анализом и последующим изменением компоновки внутреннего пространства.

В исследовании затронута лишь часть возможностей пространственного анализа в рамках программы Rhino. Изменение корня пространства в j-графе по-другому раскроет планировочную структуру и позволит выявить новые особенности помещения в зависимости от цели исследования. Более детальное сопоставление параметров энтропии, интеграции, контроля и выбора позволит всесторонне изучить планировочную структуру и выявить её особенности. Сопоставление результатов, полученных различными инструментами в разных программах, также даст новое видение ситуации. Однако, как было выявлено, параметров энтропии, интеграции и j-графа достаточно для исследования планировочной структуры в контексте выявления особенностей и сопоставления планировочных объемов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карабцев С.Н., Стуколов С.В. Построение диаграммы Вороного и определение границ области в методе естественных соседей // Вычислительные технологии. 2008. № 3. С. 65–80.
2. Целуйко Д.С. Создание графоаналитической модели сада культивации в г. Сучжоу. Генерирование планировочных структур с помощью Rhinoceros (Grasshopper) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 58–72. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-58-72
3. Шубенков М.В. Структура архитектурного пространства : специальность 18.00.01 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры. Москва, 2006. 335 с.
4. Asami Y., Kubat A., Kitagawa K, Iida S. Introducing the third dimension on SpaceSyntax: Application on the historical Istanbul // Proceedings, 4th International Space Syntax Symposium London, 2003. P. 48.1–48.18.

5. Bondy J.U. Murty Graph theory with applications. North-Holland : Elsevier Science Ltd., 1976. P. 264.
6. Garau C., Annunziata A., Yamu C. A walkability assessment tool coupling multi-criteria analysis and space-syntax: The case study of Iglesias, Italy. *European Planning Studies*, 2020.
7. Hillier B. Space is the Machine. Cambridge University Press, Cambridge, 1996. P. 368.
8. Hillier B., Hanson J. The Social Logic of Space. Cambridge University Press, Cambridge, 1986. P. 296.
9. Hillier B., Iida S. Network and Psychological effects in Urban Movement / Eds. A.G. Cohn, D.M. Mark // *Spatial Information Theory*. International conference, COSIT 2005, proceedings. Springer, Heidelberg Berlin, 2005. P. 475–490.
10. Hillier B., Penn A. Rejoiner to Carlo Ratti // *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2004. V. 31 (4). P. 501–511.
11. Khairanisa F. Function, Role, Limitation, and Potential of Space Syntax Analysis in Architectural Field // *Artificial Intelligence for Enhancing Architectural Design*. 2022. V. 1. № 2.
12. Nourian P., Rezvani S., Sariyildiz S. A syntactic architectural design methodology: Integrating real-time Space Syntax analysis in a configurative architectural design process // *Proc. 9th Conf. «Space Syntax Symposium»*. Seoul. South Korea, 2013. P. 1–15.
13. Ostwald M.J. The mathematics of spatial configuration: Revisiting, revising and critiquing justified plan graph theory // *Nexus Network Journal*. 2011. V. 13. № 2.
14. Tarabieh K., Nassar K. Abu-Obeid N. Malkawi F. The statics of Space Syntax: Analysis for stationary observers // *International Journal of Architectural Research Archnet-IJAR*. 2018. V. 12. № 1.
15. Van N.A., López M. Macro and micro scale spatial variables and the distribution of residential burglaries and theft from cars: an investigation of space and crime in the Dutch cities of Alkmaar and Gouda // *Journal of Space Syntax*. 2010. V. 2. P. 296–314.
16. Van N.A. Proceedings of the 13th Space Syntax Symposium The traditional half day DepthmapX workshop. The traditional half day DepthmapX workshop Depthmap for newbeginners // *Conference: 13th international space syntax symposium*. Bergen, Norway, 2022.
17. Xie Z. Exploration of the potential use of space syntax analysis in 3D parametric design: the case of Quanzhou // *Thesis, University College London*, 2011.

REFERENCES

1. Karabtsev S.N., Stukolov S.V. Construction of the Voronoi diagram and determination of the boundaries of the region in the method of natural neighbors. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 2008; (3): 65–80. (In Russian)
2. Tseluiko D.S. Graphic-analytical model of cultivation garden in Suzhou. Generation of planning structures with Rhinoceros (Grasshopper). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021; 23 (1): 58–72. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-58-72 (In Russian)
3. Shubenkov M.V. Architectural space structure. DSc Thesis. Moscow, 2006. 335 p. (In Russian)
4. Asami Y., Kubat A., Kitagawa K., Iida S. Introducing the third dimension on SpaceSyntax: Application on the historical Istanbul. In: *Proc. 4th Int. Space Syntax Symposium*. London, 2003. Pp. 48.1–48.18.
5. Bondy J.U. Murty graph theory with applications. North-Holland: Elsevier Science Ltd., 1976. 264 p.
6. Garau C., Annunziata A., Yamu C. A walkability assessment tool coupling multi-criteria analysis and space-syntax: The case study of Iglesias. Italy, *European Planning Studies*, 2020.
7. Hillier B. Space is the machine. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 368 p.
8. Hillier B., Hanson J. The social logic of space. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. 296 p.
9. Hillier B., Iida S. Network and psychological effects in urban movement. In: *Proc. Int. Conf. 'Spatial Information Theory'*, A.G. Cohn, D. M. Mark, eds. Heidelberg Berlin, Springer, 2005. Pp. 475–490.
10. Hillier B., Penn A. Rejoiner to Carlo Ratti. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2004; 31(4), Pp. 501–511.

11. *Khairanisa F.* Function, Role, Limitation, and potential of space syntax analysis in architectural field. *Artificial Intelligence for Enhancing Architectural Design*. 2022; 1 (2).
12. *Nourian P., Rezvani S., Sariyildiz S.* A syntactic architectural design methodology: Integrating real-time Space Syntax analysis in a configurative architectural design process. In: *Proc. 9th Conf. 'Space Syntax Symposium'*. Seoul South Korea, 2013. Pp. 1–15.
13. *Ostwald M.J.* The mathematics of spatial configuration: Revisiting, revising and critiquing justified plan graph theory. *Nexus Network Journal*. 2011; 13 (2).
14. *Tarabieh K., Nassar K., Abu-Obeid N., Malkawi F.* The statics of space syntax: Analysis for stationary observers. *International Journal of Architectural Research*. 2018; 12 (1).
15. *Van N.A., López M.* Macro and micro scale spatial variables and the distribution of residential burglaries and theft from cars: An investigation of space and crime in the Dutch cities of Alkmaar and Gouda. *Journal of Space Syntax*. 2010; 2: 296–314.
16. *Van N.A.* The traditional half day DepthmapX workshop. Depthmap for new beginners. In: *Proc. 13th Space Syntax Symposium*. Bergen, Norway, 2022.
17. *Xie Z.* Exploration of the potential use of space syntax analysis in 3D parametric design: The case of Quanzhou, Thesis University College London, 2011.

Сведения об авторах

Целуйко Дмитрий Сергеевич, доцент, Тихоокеанский государственный университет, 680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Dima123117@gmail.com

Кирпо Арина Романовна, студентка, Тихоокеанский государственный университет, 680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, 2018100396@pnu.edu.ru

Authors Details

Dmitrii S. Tseluiko, A/Professor, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya Str., 680035, Khabarovsk, Russia, Dima123117@gmail.com

Arina R. Kirpo, Student, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya Str., 680035, Khabarovsk, Russia, 2018100396@pnu.edu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.02.2023
Одобрена после рецензирования 28.04.2023
Принята к публикации 16.05.2023

Submitted for publication 05.02.2023
Approved after review 28.04.2023
Accepted for publication 16.05.2023