

# СТРОИТЕЛЬСТВО

---

---

МРНТИ 67.07.01

*А.А. Сеимова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахская государственная архитектурная академия, г. Алматы, Казахстан

## ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВ В АРХИТЕКТУРЕ

---

---

**Аннотация.** В статье рассматриваются графические операционализации пространства используемые в архитектуре. Пространственный синтаксис и анализ графиков видимости направлены на выявление и описание структурных свойств построенных сред, которые определяют их использование. Графики могут применяться как минимум в двух разных этапах проектирования. Графические представления служат различным целям в пространственном познании. С одной стороны, начальным процессам проектирования, когда требуется нарисовать диаграмму или эскиз проекта, который устанавливает отношения и связи между его различными частями. С другой стороны, в качестве инструмента для анализа стадии завершаемого проекта, который позволяет классифицировать разные стили. В статье изложены некоторые области, представляющие общий интерес для графических приложений в архитектуре. Анализировать архитектурную композицию с помощью методов, предлагаемых теорией графов, можно по различным аспектам.

**Ключевые слова:** Архитектура, граф, анализ графиков видимости, пространственное познание, проект.

•••

**Түйіндеме.** Бұл мақалада архитектурада қолданылатын аумақты графикалық түрде пайдалану қарастырылады. Архитектурада кеңістіктік синтаксис және көрінетін жер учаскелерін талдау оларды пайдалану мен тәжірибеде қолдануды анықтайтын құрылымдық қасиеттерді анықтауға және сипаттауға бағытталған. Графиктер кем дегенде екі түрлі дизайн кезеңдерінде қолданылуы мүмкін. Кеңістіктің графикалық көріністері кеңістіктік таным мен архитектурада әр түрлі мақсатта қызмет етеді. Бір жағынан, бастапқы процесс пен диаграмманы салу немесе жобаның эскизін сызу, оның бөліктері арасындағы қатынастар мен байланыстарды орнатады. Екінші жағынан, әр түрлі стильдерді жіктеуге мүмкіндік беретін аяқтау немесе аяқталған жобаны талдау құралы ретінде қарастырады. Бұл мақалада сәулет өнеріндегі графикалық қосымшаларға жалпы қызығушылық туғызатын кейбір салалары көрсетілген.

Графикалық теориямен ұсынылған әдістердің көмегімен архитектуралық композицияны әр түрлі аспектілер бойынша талдауға болады.

**Түйінді сөздер:** архитектура, сызба, көрінетін сызбалардың талдауы, кеңістіктік таным, жоба.

• • •

**Abstract.** The article considers the graphical operationalizations of space used in architecture. In architecture, spatial syntax and visibility graph analysis are aimed at identifying and describing the structural properties of constructed environments that determine their use and experience. Graphs can be used in at least two different design stages. Graphical representations of space serve different purposes in spatial cognition and in architecture. On the one hand, the initial design processes, when you want to draw a diagram or sketch of a project that establishes the relationships and connections between its different parts. On the other hand, as a tool for analyzing the stage of a completed project, which allows you to classify different styles. The article outlines some areas of common interest for graphics applications in architecture. Analyze the architectural composition with the help of the methods proposed by graph theory, it is possible on various aspects.

**Keywords:** Architecture, graph, analysis of graphs visibility, spatial cognition, project.

**Введение.** Графики обеспечивают четкое и простое представление большого количества данных и различных параметров, связанных между собой, что дает лучшее понимание проекта. Архитектура – это высокоуровневая фундаментальная система, воплощенная в различных компонентах, их отношениях друг к другу и окружению, в принципах управления ее проектированием и эволюцией, достаточно, детализированная для поддержки анализа, синтеза и достаточно простая для понимания. Аспекты, которые прежде всего, должны быть учтены в работе над проектом, следующие: экономичность для потенциальных пользователей проекта, дополнительное использование пространства между различными комнатами, уровень изолированности.

Грамматические правила архитектурного языка понимаются как первый шаг к концепции проекта. Позже они переводятся на математический язык с помощью алгоритма в качестве руководства для последующего использования, которое использует теорию графов [1].

С математической точки зрения граф  $G$  является парой  $(V(G), E(G))$ , где  $V(G)$  является непустым конечным множеством элементов, называемых вершинами, а  $E(G)$  является конечное семейство двух эле-

ментов множеств элементов из  $V(G)$ , называемых ребрами. Если  $u$  и  $v$  - вершины из  $G$ , то ребро формы  $\{u, v\}$  называется соединением  $u$  и  $v$  и что  $u$  и  $v$  смежны. Два или более ребра, соединяющие одну пару вершин, называются множественными ребрами, а ребро, соединяющее вершину с самим собой, называется петлей. Граф без петель или нескольких ребер называется простым графом, и в этом случае  $E(G)$  является множеством. Степень или валентность вершины  $u$  в графе  $G$  (без петель), обозначаемая через  $gr(u)$ , - это число ребер, встречающихся в  $u$ . Прогулка длины  $k$  в  $G$  есть последовательность  $v_0, e_1, v_1, e_2, \dots, e_k, v_k$  вершин и ребер, таких, что  $e_i = \{v_{i-1}, v_i\}$  для всех  $i$ , и мы говорим, что это блуждание прогулки между  $v_0$  и  $v_k$ . Заметим, что если  $G$  просто, то прогулка полностью определяется последовательностью вершин. Когда идет прогулка между любой заданной парой вершин графа  $G$  (то есть  $G$  связна), расстояние между двумя вершинами  $u$  и  $v$  группы  $G$ , обозначаемое  $d(u, v)$ , определяется как наименьшая длина прогулки между ними. Эксцентриситет вершины  $u$  в графе  $G$ , обозначаемый  $e(u)$ , является максимумом его расстояния до других вершин. Заметим, что степень вершины зависит только от локальной структуры этой вершины, тогда как эксцентриситет вершины зависит от глобальной структуры графа [2].

Как использовать эту теорию при изучении наземного плана? В данном случае вершины будут номерами и краями, прямой связью между каждыми двумя комнатами. Ниже (рис.1), виден план земли небольшой квартиры 70м<sup>2</sup> и графическое представление связанного графа, который является простым графиком.

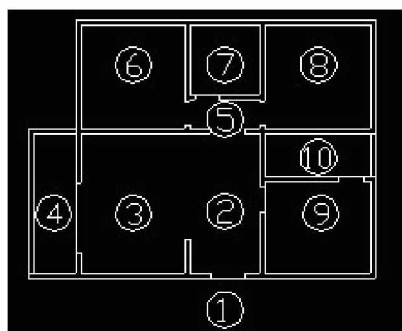


Рис.1 План земли небольшой квартиры.

1-экстерьер, 2-холл, 3-гостиная, 4-балкона, 5-коридорный, 6-спальный, 7-санузел, 8-кабинет, 9-кухня и 10-сушка

Последовательности степени и эксцентриситета:  $gr(1) = gr(4) = gr(6) = gr(7) = gr(8) = gr(10) = 1$ ,  $gr(3) = gr(9) = 2$  и  $gr(2) = gr(5) = 4$ ;  $e(2) = 2$ ,  $e(1) = e(3) = e(5) = e(9) = 3$  и  $e(4) = e(6) = e(7) = e(8) = e(10) = 4$  (рис. 2).

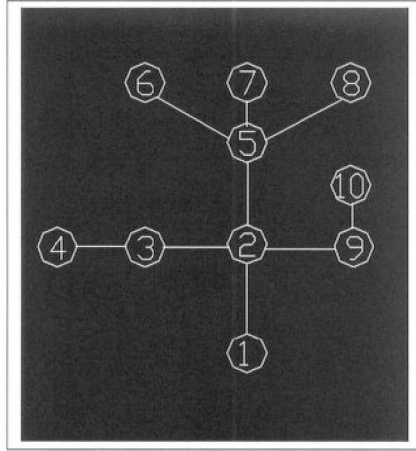


Рис.2 Графическое представление

Обратите внимание, что пространства с единственным прямым соединением составляют 60% от набора вершин. Небольшой размер квартиры и уменьшенное количество потенциальных пользователей являются причинами, которые могут объяснить это и наличие уникального входа в квартиру. Рассматриваемый граф имеет три уровня градусов с разрывом между степенями 2 и 4. Вершины с наименьшей степенью соответствуют пространствам, которые требуют большей конфиденциальности или из-за более изолированных шумов или запахов, вершины со средней степенью, соответствуют основным пространствам и, вершины с наивысшей степенью соответствуют пространствам обращения.

Центральным пространством, с точки зрения расстояний, является зал. Этот факт обнаруживается наименьшим эксцентриситетом вершин 2. Наблюдается 3 уровня эксцентриситета без зазоров: самый низкий эксцентриситет соответствует центральному пространству, наивысший эксцентриситет соответствует периметровым пространствам, а средний эксцентриситет соответствует двум основным

пространствам, к пространству циркуляции и к внешнему виду. Отсутствие циклов, то есть графика является деревом, обычным способом проектирования такого рода жилищ. Единственное исключение из этого правила можно найти, когда балкон может быть доступен из двух или более мест.

**Методы исследования.** Предложенное исследование предлагает характеризовать свойства архитектурного языка с помощью некоторых математических инвариантов, связанных с графами, которые позволяют связать их с составом архитектурного или городского проекта [3].

Одно из направлений исследований было сосредоточено на межкультурных сопоставлениях, а также на применении в архитектурной практике, что позволяет продолжать разработку улучшенных общих переменных дескрипторов графа (например, захват связи, центральность, уровень управления местами).

При анализе синтаксиса раннего пространства использовались феноменальные пространственные единицы, такие как четко определенные комнаты или помеченные места для их узлов, в то время как края графа в двоичном порядке означали их простое подключение. В качестве дополнительного элемента графа, доступ к индивидуальным проанализированным пространственным конфигурациям, рассматривался как корневые узлы так называемых оправданных графов.

Осевые карты состоят из узлов, описывающих линии зрения или прямого движения и их простые пересечения как двоичных ребер. Они основаны на предварительном разделении минимального набора выпуклых подпространств. На втором этапе эти выпуклые гедры связаны наименьшим возможным числом прямых максимумов длины. Сгенерированный граф должен удовлетворять требованиям, где каждая смежность подпространств должна быть связана, по меньшей мере, с одной осевой линией. Недавнее расширение аксиальных отображений - угловые отображения которые дополнительно учитывают угол между осями в краях связи. Осевые карты в основном использовались для анализа кварталов города. Сильные корреляции были найдены между производными и переменными дескриптора и статистическими переносами пешеходов.

Для анализа пространственных характеристик небольших сред Бенедикт предложил изовисты, как объективно определяемые базо-

вые элементы. Изовисты - это видные многоугольники, которые захватывают пространственные свойства, описывая видимую область от данной точки наблюдения и поэтому, они особенно хорошо подходят для анализа открытых пространств открытой планировки. В порядке для описания пространственных характеристик сред за пределами одного сенсорного горизонта, изовисты могут использоваться как содержимое в узлах графа и связываться ребрами.

Полученные из изовистских полей предлагаемые графики видимости могут использоваться как перспективный способ оптимизации анализа вычислительного графа. Графики видимости заменяют изовист, как содержимое узла переводимой информацией в ребра к другим узлам, которые теперь распределены на регулярной и плотной сетке занятости возможных точек наблюдения. Этот метод облегчает вывод глобального или второго порядка измерения, такого, как визуальная стабильность, которая может иметь отношение к локомоции и навигации. Действительно, недавние эмпирические исследования показали, что графики видимости полезны для прогнозирования пространственного поведения и визуализации аффективных качеств внутренних помещений.

Как видно из выше изложенного, формально похожие графические представления пространства служат различным целям в пространственном познании и в архитектуре. Хотя графики пространственного познания в основном используются в качестве моделей для ментальных представлений об окружающей среде, в архитектуре они используются в качестве общих формализованных систем описания для структуры и формы построенных сред [4].

Графом принято называть плоскую геометрическую фигуру, состоящую из вершин (узлов) и ребер (дуг). Вершины, как правило, обозначаются точками, а ребра прямыми линиями. Ребра графа могут пересекаться между собой, причем точки пересечения не обязательно являются вершинами графа. Если ребра пересекаются только в вершинах, такой граф называется плоским. Но есть такие объекты (например, многоуровневая транспортная развязка), которые могут быть представлены только неплоским графом, т. е. имеющим пересекающиеся ребра

В теории графов используется понятие связности графа, которое указывает на то, что вершины графа соединены какой-либо последовательностью ребер. С использованием аппарата теории графов очень удобно описывать любые архитектурно-планировочные, функ-

циональные и другие схемы и объекты. Это удобство усиливается и тем обстоятельством, что любой граф может быть представлен в виде матриц (например, «матриц связности»), что, в свою очередь, дает возможность формализованной записи графа в памяти ЭВМ. В дальнейшем изложении нам понадобится еще понятие двойственного графа, которым принято называть граф, поставленный в определенное соответствие с другим графом таким образом, что его вершины являются зонами другого. Этот тип оказывается особенно удобным для описания самых разнообразных функциональных и пространственных взаимосвязей.

Таким образом, любая фигура, схема, чертеж, описанные набором точек и соединяющих их отрезков, могут рассматриваться как граф, в котором каждая вершина имеет соответствующую пару (или тройку) координат, указывающих на физическую реализацию данного объекта в двух- или трехмерном пространстве. К этому только надо будет добавить еще матрицу связностей, указывающую на порядок связи вершин графа между собой.

Метод анализа архитектурной композиции путем сопоставления с ядром графа базируется на нескольких определениях. Во-первых, ребро считается инцидентным двум вершинам, которые оно соединяет. Во-вторых, вершина покрывает ребро графа, которое ей инцидентно. В-третьих, несмежные ребра графа называются независимыми. В-четвертых, наименьшее число вершин, которыми можно покрыть все ребра графа, называется числом минимального вершинного покрытия ( $\alpha$ ). В-пятых, максимальный набор независимых ребер графа называется числом реберной независимости ( $\beta$ ). В-шестых, если в графе  $\alpha = \beta$ , то его можно несколькими операциями свести к такому графу, в котором вершины разделяются на два цвета. Один цвет приписывается покрывающим вершинам, играющим роль связки, другой цвет – вершинам, играющим роль связуемых [5].

Кроме того, каждый вариант максимального набора независимых ребер принимается как базовый (основной) набор функциональных или каких-либо других видов связей, в зависимости от аспекта анализа объекта. Причем оставшиеся связи, не вошедшие в него, рассматриваются в этом случае как второстепенные, менее значимые, по сравнению с выделенными. Каждый такой вариант максимального набора ребер является равноправным по отношению к другим, так как в абстрактном смысле все возможные интерпретации базовости являются равноправными, и без соответственного аспекта анализа этих функ-

циональных связей мы не вправе выделять что-то одно. Поскольку данные связи будут основными для некоторого равноправного набора вариантов, целесообразно рассмотреть всю их совокупность.

Таким образом, ядро графа – это объединение всех вариантов реберно-независимых систем из  $\beta$  элементов, в случае, когда  $\alpha = \beta$ . Если граф совпадает с ядром, это означает, что каждое его ребро может быть включено в некоторую реберно-независимую систему, и, стало быть, все ребра графа могут считаться базовыми или основными для своего аспекта анализа. Соответственно, в графе нет лишних ребер, то есть лишних функциональных или каких-либо других видов связей.

Также ядро – это граф, в котором при любом варианте наименьшего вершинного покрытия покрывающие вершины не смежны. Если граф не содержит ядро или не совпадает с ним, то его можно попытаться модифицировать с минимальными допущениями, такими как устранение критического ребра, слияние вершин, введение дополнительной вершины.

На рис. 3 представлены два плана квартир проектируемого современного жилого дома, финальная корректировка которых будет произведена на основе моделирования и оптимизации функциональных связей методом анализа архитектурной композиции путем сопоставления с ядром графа.

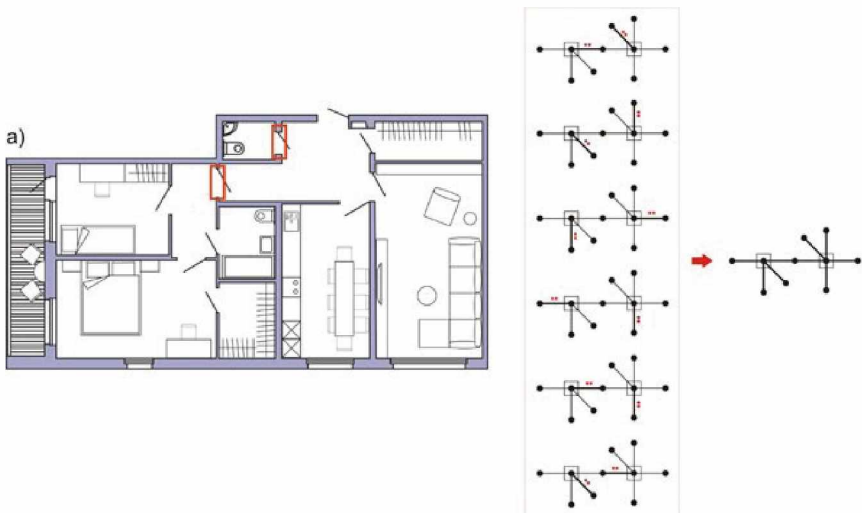


Рис.3 (а). Планы квартир



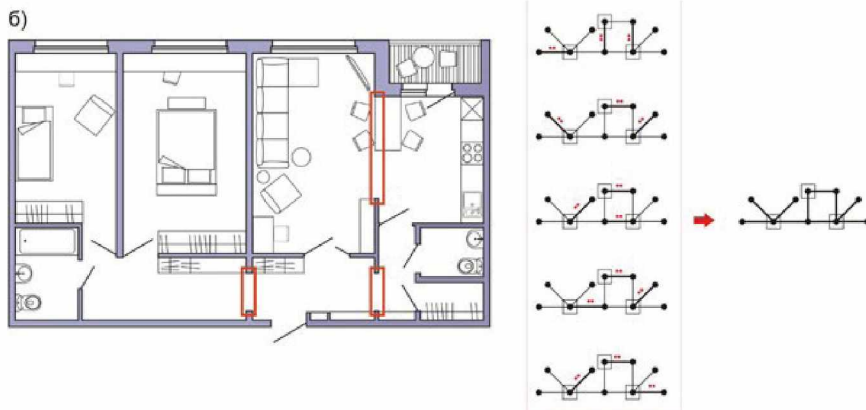


Рис.3 (б). Планы квартир

На первом этапе анализа каждому помещению, входящему в состав квартиры, ставится в соответствие вершина графа и устанавливается взаимосвязь между ними в виде соединения ребрами по принципу функциональной смежности. При этом во втором случае гардеробная рассматривается как часть спальни и обозначается одной с ней вершиной. Также, в обоих вариантах лоджии формально объединяются с помещениями, к которым они примыкают, что обусловлено современной тенденцией к увеличению жилых площадей за их счет. Покрывающие вершины и варианты максимальных систем независимых ребер маркируются условными знаками. Полученные ядра графов не совпадают с самими графами. С точки же зрения архитектуры, представленным планам квартир не хватает четкого функционального разграничения на интимную и общественную зоны.

**Вывод.** В статье изложены некоторые области, представляющие общий интерес для графических приложений в архитектуре. Анализировать архитектурную композицию с помощью методов, предлагаемых теорией графов, можно по различным аспектам. Рассмотренная модельная задача – только один из вариантов такого прикладного исследования в рамках той или иной модели взаимосвязи частей целого. Однако при этом нужно учитывать, что системы элементов планировки, как и конфигурация связей между ними, меня-

ются в зависимости от эпохи, идеологии и прочих факторов. Поэтому для моделей различного времени важны разные наборы базовых связей данных систем. Если архитектор входит в уже сложившуюся и устойчивую модель взаимосвязей, он должен учитывать существовавшие на момент их создания идеологию, социологию, модели поведения и т.д. [6].

### Список литературы

1. Фридман И. Научные методы в архитектуре / И. Фридман; пер. с англ. А.А. Воронова. – М.: Стройиздат, 1983. – 160 с.
2. Gary R. Bertoline et al. (2012) Technical Graphics Communication. p.12.
3. Küller R. The architectural psychology box of infinite knowledge. In Aesthetics, well-being and health: essays within architecture and environmental aesthetics /Aldershot, UK: Ashgate, 2001.- P. 129–142.
4. Gross J., Yellen J. Graph Theory and its Applications, CRC Press, USA, 1999. - 210 p.
5. Pellegrino P., Coray D., et al. Arquitectura e informática, Gustavo Gili, GG Básicos, Spain. 1999. - 30-35 p.
6. Biggs N. Algebraic Graph Theory, Cambridge University Press, Great Britain, (Reprint of the second edition, 1993). (1996)