

А.А. Курмангулов

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВОГО АНАЛИЗА ПРИ ВЫСТРАИВАНИИ
БЕРЕЖЛИВОЙ НАВИГАЦИИ ПОТОКОВ ПОСЕТИТЕЛЕЙ В
МЕДИЦИНСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

Научный руководитель: д-р мед. наук, доц. Н.С. Брынза

Кафедра общественного здоровья и здравоохранения

Тюменский государственный медицинский университет, г. Тюмень

A.A. Kurmangulov

**APPLICATION OF NETWORK ANALYSIS IN BUILDING LEAN NAVIGATION
OF MEDICAL VISITOR FLOWS**

Tutor: DM, associate professor N.S. Brynza

Department of Public Health and Health

Tyumen State Medical University, Tyumen

Резюме. В статье представлены результаты сетевого анализа потоков посетителей медицинской организации на основе теории графов. Доказано наличие в здании медицинской организации помимо точек ветвления маршрутов центральных узловых пространств. Показано, что сетевой анализ открывает широкие возможности для организаторов здравоохранения при осуществлении совершенствования логистики посетителей и создания эффективных бережливых систем визуализации.

Ключевые слова: система визуализация, сетевой анализ, теория графов, бережливая поликлиника, бережливое производство

Resume. The article presents the results of a network analysis of the flows of visitors to a medical organization based on graph theory. It is proved that in the building of a medical organization, in addition to the branching points of the routes, there are central nodal spaces. It is shown that network analysis opens up great opportunities for health care organizers in the implementation of improving the logistics of visitors and creating effective lean visualization systems.

Keywords: visualization system, network analysis, graph theory, lean clinic, lean production

Актуальность. Несмотря на актуальность темы научного обоснования подходов к эффективной визуальной передаче информации в системе здравоохранения организация систем визуализации в здании и на прилегающей территории медицинской организации (МО) нельзя назвать полностью проработанной темой как на теоретическом уровне, так и на уровне законодательного регулирования и практической реализации проектов по созданию, размещению и эксплуатации систем визуализации [1, 2]. К настоящему времени в научной литературе представлено значительное число работ, посвященных изучению возможностей сетевого анализа при решении управленческих задач различной сложности [3]. По результатам предварительного анализа отечественных и зарубежных источников для апробирования была выбрана методика сетевого анализа, которая широко применяется в различных исследованиях информационных систем, социальных структур и отраслей экономики на протяжении более 30 лет [4].

Цель: апробировать методику сетевого анализа потоков посетителей в медицинской организации на основе теории графов и сформировать предложения по совершенствованию системы визуализации МО.

Задачи:

1. Установить ключевые помещения в маршрутизации потоков посетителей в медицинской организации с помощью теории графов.
2. Определить особенности центральных узловых пространств с позиции сетевого анализа.
3. Выявить слабосвязанные с общей схемой навигации помещения медицинской организации.

Материалы и методы. Сетевой анализ предполагал количественную и качественную оценку макро- и микроуровня построенной сети с расчетом показателей плотности, последовательности, центральности и кластеризации сети, а также близости, эффективности и ассортативного смешивания узлов. Отбор метрик осуществлялся на уровне отдельного узла (центральность, близость, промежуточность узла) и на уровне всей сети (централизованность и комплексность сети). Сбор первичных данных о потоках посетителей, их целевых маршрутах, количестве точек навигации и их последовательности в процессе перемещения потоков посетителей в здании МО осуществлялся путем изучения НПА федерального, регионального, муниципального и локального уровней, этажных планов здания, спецификаций помещений, непосредственного (прямого) наблюдения, опроса персонала и посетителей, картирования потоков создания ценности и построения диаграмм спагетти. При картировании началом любого процесса считался вход посетителя в здание МО (входная группа 1 этажа), окончанием любого процесса — выход посетителя из здания МО (входная группа 1 этажа). В категорию первичных узлов построенной сети были включены любые помещения и зоны МО, которые присутствовали на целевых картах потока создания ценности, за исключением сервисных, вспомогательных и хозяйственных помещений.

Формирование конечного невзвешенного направленного графа осуществлялось с помощью построения ассиметричной квадратной матрицы узлов. Ячейки матрицы a_{xy} , у принимали значение 1, если между узлами x и y определялась функциональная связь, и 0, если функциональная связь между узлами не определялась.

Для визуализации сети и расчетов основных показателей узлов и графов использовалось программное обеспечение Gephi (Версия 0.9.1.) с открытым исходным кодом, написанным на объектно-ориентированном языке Java на платформе NetBeans. В качестве базовой укладки узлов для обеспечения высокой степени точности построения графа был применен встроенный алгоритм Force Atlas, представляющий собой классический силовой подход на основе принципов отталкивания, притяжения и гравитации. В ходе применения алгоритма были выстроены следующие параметры сети: инерция — 0,3 усл. ед.; сила отталкивания — 20000,0 усл. ед.; сила притяжения — 60,0 усл. ед.; максимальное отталкивание — 60,0 усл. ед.; сила автостабилизации — 80,0 усл. ед.; чувствительность автостабилизации — 0,2 усл. ед.; включение функции ослабления хабов и учета размера узлов. Апробация представленной методики сетевого анализа проводилась в

условиях функционирующей МО. Базой исследования был выбран филиал МО, оказывающий первичную, в том числе доврачебную, врачебную и специализированную, медико-санитарную помощь, взрослому и детскому населению г. Тюмени. По архитектурным решениям база исследования представляла собой отдельно стоящее восьмиэтажное (с цокольным этажом) здание общей площадью 11 865 кв. м, построенное в новом районе города по типовому проекту — поликлиника на 500 посещений в смену — и введенное в эксплуатацию в 2021 г.

Результаты и их обсуждение. Формирование асимметричной матрицы смежности позволило систематизировать данные о наличии связи между каждой парой узлов и определить направление каждой связи. Сформированный связный граф сети с одной компонентой связности состоял из 25 узлов сети и 154 направленных связей между ними. Расчет показателей макроуровня сети позволил определить среднюю степень сети, равную 12,32 усл. ед., при этом взвешенная степень составила 6,16 усл. ед. Каждый из рассматриваемых узлов МО в среднем был функционально связан с 6–7 другими узлами сети, что характеризует построенную сеть как связанную. С помощью инструментария теории графов установлено, что анализируемое здание МО представляет собой систему функционально связанных элементов, в которых ключевую роль с точки зрения эффективности управления потоками посетителей играют коммуникационные помещения. Сбор данных о бинарных связях между двумя отдельно взятыми узлами позволил определить самое длинное из возможных в данном графе расстояний между двумя любыми узлами, которое составило 3 связи, а средняя длина пути — 1,792 связи. Отношение числа связей в графе к числу связей в полном графе с тем же числом вершин составило 0,257 усл. ед., что характеризует плотность сети как разреженную, в которой различные функциональные помещения могут быть не связаны в рамках целевой карты одного потока создания ценности.

Графический анализ построенной сети МО позволил выделить ядро и периферию сети. В состав ядра сети вошло 10 узлов: зона администратора холла, регистратура, гардероб, касса, терапевтическое, хирургическое, диагностическое отделения, клиничко-диагностическая лаборатория и отделение профилактики, кабинет компьютерной томографии. Благодаря расчету индекса k -core было установлено, что каждый из узлов ядра сети связан не менее чем с 6 узлами сети. Это свидетельствует о том, что именно данные узлы выполняют роль структурообразующих элементов сети в рамках создания ценности для различных потоков посетителей МО.

Анализ микроуровня сети осуществлялся на третьем этапе исследования. Результаты расчета центральности узлов позволили установить вершины, которые имели наибольшее число входящих связей, — это гардероб ($n = 19$), касса ($n = 15$) и клиничко-диагностическая лаборатория ($n = 12$). Такой результат согласуется с результатами построения целевых диаграмм спагетти и карт потока создания ценности, так как именно эти узлы вошли в наибольшее число диаграмм и карт для разных категорий посетителей. Вместе с тем это означает, что данные узлы и в

наибольшей степени зависят от целостности и центральности сети. Больше всего исходящих связей было определено у гардероба ($n = 22$), регистратуры ($n = 18$) и кабинета доврачебного приема ($n = 15$). Наибольшая степень центральности по близости связей установлена для гардероба (0,923), регистратуры (0,75) и кабинета доврачебного приема (0,667). Из данных узлов математически вычислена большая вероятность взаимодействия с остальными узлами сети. При этом максимальное число кратчайших путей, которые проходят через один узел, установлено для гардероба, что в теории графов определяет данный узел как ключевой связующий элемент сети в функциональной архитектонике перемещения потоков посетителей построенной сети.

Сравнение локальных коэффициентов кластеризации, степени влияния и модулярности позволило подтвердить наличие фокального узла сети — кабинета дентальных снимков, наименее связанного функционально с другими узлами. Установленная наивысшая степень влияния гардероба означает, что данный узел максимально связан функционально с другими узлами, имеющими высокие степени влияния. При этом наибольший относительный локальный коэффициент кластеризации у кабинета маммографии ($C_i = 0,4059$), согласно закону Меткалфа, позволяет утверждать, что данный узел входит в состав устойчивой группы и обладает в сети значимой силой по отношению к другим узлам и определяет эффективность их функционирования.

Выводы:

1. Проведенный сетевой анализ потоков посетителей МО на основе теории графов позволил математически доказать наличие в здании МО помимо точек ветвления маршрутов центральных узловых пространств, обладающих в сравнении с другими помещениями и функциональными зонами наибольшими значениями коэффициентов центральности по уровню близости связей, центральности по уровню промежуточности узла, степени влияния, индекса k -core.

2. В центральных узловых пространствах установлена наибольшая вероятность пересечения потоков посетителей, что предопределяет необходимость размещения в них элементов систем визуализации с достаточной доступной и релевантной информацией.

3. Построение сети потоков посетителей МО и вычисление локального коэффициента кластеризации позволили установить фокальные узлы, слабо связанные с сетью, что требует дополнительной маршрутизации данных узлов в систему визуализации.

Литература

1. Алексеева, Н. Ю. Оценка эффективности применения принципов «Бережливого производства» в поликлинике: на примере ОГАУЗ «МСЧ ИАПО» / Н. Ю. Алексеева, Е. М. Постникова, И. В. Маевская // Система менеджмента качества: опыт и перспективы. – 2020. – № 9. – С. 270–276.

2. Бурыкин, И. М. Повышение эффективности менеджмента учреждений здравоохранения в современных условиях на основе принципов бережливого производства / И. М. Бурыкин, А. Ю. Вафин, Р. Х. Хафизьянова // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 7-3. – С. 523–529.

3. Vaggio, R. Network science. A review focused on tourism / R. Vaggio, N. Scott, C. Cooper //

Annals of Tourism Research. – 2010. – Vol. 37 (3). – P. 802–827.

4. Kim, Y. Structural investigation of supply networks: A social network analysis approach / Y. Kim, T. Y. Choi, T. Yan, K. Dooley // *Journal of Operations Management*. – 2011. – Vol. 29 (3). – P. 194–211.