

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра теории функций и стохастического анализа

**АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТЕОРИИ ГРАФОВ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИЙ  
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студентки 4 курса 451 группы

направления 38.03.05 — Бизнес-информатика

механико-математического факультета

Мгебришвили Елизаветы Давидовны

Научный руководитель

доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

О. А. Мыльцина

Заведующий кафедрой

д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_

С. П. Сидоров

Саратов 2021

## **Введение**

Природный газ, как энергоресурс, играет огромную роль в нашей жизни и экономике. Давно привычными для нас являются системы отопления и газоснабжения жилых комплексов. Они и многие другие являются отражением прогресса нашего общества. Соответственно, уровень потребления энергоресурсов может рассматриваться как показатель развития экономики. На данный момент доля добычи энергоресурсов от общей массы составляет 70%, что очень высоко. Следовательно, для сложившегося состояния общества энергия имеет огромное значение и, в частности, и природный газ. С этим условием становится понятно, что роль тех, кто снабжает человечество газом, очень важна и несет за собой большой груз ответственности, ведь в случае ошибки все, кто использовал данный ресурс, могут пострадать. Поэтому в данной отрасли чрезвычайно важным является возможность своевременно определить риск возникновения ошибки и предупредить ее. Следовательно, анализ процессов, протекающих в рамках данных предприятий должен выполняться быстро и качественно, что невозможно без технологий.

Крупнейшим мировым поставщиком газа является российская группа ПАО «Газпром». Данная компания уже давно является поставщиком российского газа и имеет множество зарубежных крупных партнеров. Следовательно, управление данным видом взаимоотношений может предостеречь компанию от потери влияния. Наиболее удобно в данном случае произвести анализ системы в рамках графовой грамматики.

Таким образом, работа должна включать решение следующих задач: анализ бизнес-процессов по продаже газа компанией «Газпром»; создание сети взаимоотношений участников системы поставки газа Группы; анализ полученного графа и выявление стратегических точек взаимодействия.

### **Понятие графа. Особенности ориентированных графов**

С помощью оргграфов и, в частности, сетей можно моделировать довольно широкий спектр систем взаимосвязей, учитывая при этом многие весовые факторы и разметку. К примеру, транспортных сетей, схем управления проектами, моделей коллективов и групп.

### **Способы представления графов**

Одним из решений проблемы использования информационных техно-

логий для работы с графами является использование алгебраической формы графов, матриц. При этом, существует несколько вариантов матричного представления графов, среди которых можно выделить три основных: матрица смежности, матрица инцидентности и корреляционная матрица. Граф при этом представляется в виде совокупности  $G(V, E)$ , где  $V$ , – множество вершин, а  $E$ , – множество ребер графа.

Матрицей смежности называют матрицу  $A = (a_{ij})$  размерности  $n \times n$  графа  $G$ , где  $|V| = n$ , то есть граф имеет  $n$  вершин. Здесь сеть всегда представляется в виде квадратной матрицы, как правило, бинарной. При этом, существует два способа ее заполнения, – для ориентированных и неориентированных графов. В первом случае число на пересечении говорит о количестве связей исходящих от вершины, определяемой параметром строки, до вершины столбца. Во втором речь идет лишь о наличии связи.

Множество субъектов связей в матрице инцидентности также используется, но лишь в качестве параметров строк, столбцы же представляют из себя множество ребер графа. Так, матрица инцидентности может быть определена, как  $J = (j_{kl})$  размерности  $n \times m$  графа  $G$ , где  $|V| = n$ , а  $|E| = m$ . При этом, в случае неориентированного графа матрица заполняется аналогично тому, как это происходит в матрице смежности. В случае же ориентированного графа положительное число используется для утверждения о том, что соответствующая дуга входит в вершину, а отрицательное число определяет вершину, являющуюся источником дуги.

Корреляционная матрица:  $R = (r_{cd})$  размерности  $n \times n$  графа  $G$ , где  $|V| = n$ . При этом матрица симметрична, а элементы матрицы всегда могут принимать значения от -1 до 1, так как являются количественной оценкой взаимосвязи между двумя субъектами, – коэффициентом корреляции. При этом сила связи характеризуется абсолютной величиной коэффициента, далее  $r$ . Чтобы представить граф такой матрицей необходимо заменить дробные значения целыми. Наиболее популярный способ такого преобразования подразумевает введение некоторого порогового значения  $t$ . При этом, если  $t < r_{cd}$ , значение элемента заменяют на 1, если  $r_{cd} < -t$ , – на -1, иначе, – 0. Таким образом можно регулировать значимость связей в графе, что порождает один из способов анализа связей системы, – постоянно повышая пороговое значе-

ние  $t$  можно довести граф до состояния совокупности нескольких несвязных между собой компонент и классифицировать субъекты сети на группы по степени связности.

Стоит отметить, что представление связей главной диагонали корреляционной матрицы данных на графе лишено смысла, также, как и использования дуг в целом.

### **Использование мер в анализе графов**

Меры оценки вершин могут быть рассмотрены с точки зрения концептуальной или графо-теоретической основы.

Классификация мер центральности с точки зрения выявления определенного структурного свойства, связанного с интуитивной концепцией сводит ряд определений показателей центральности к трем базовым.

Первый тип, – центральность вершин, как отражение их потенциальной активности, – концепция, в основе которой лежит предположение, что вершина с большим значением степени является потенциально активной. Фундаментальной мерой в рамках данной концепции является относительная центральность вершины по степени:  $C'_d = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{n-1}$ .

Второй тип, – центральность вершины, как возможность управления передачей, – концепция, основанная на подсчете частоты прохождения через вершину кратчайших путей между всеми парами вершин графа. Для данного пункта основным служит показатель относительной центральности вершины по посредничеству:  $C'_B(k) = \frac{1}{n^2} \sum_i \sum_j \frac{g_{ij}(k)}{g_{ij}}$ , ( $i \neq j \neq k$ ). При этом,  $g_{ij}$  опередляет количество всех кратчайщих путей от вершины  $i$  до  $j$ ,  $k$ , – оцениваемую вершину, соответственно  $g_{ij}(k)$ , – количество кратчайших путей от  $i$  до  $j$ , проходящих через вершину  $k$ .

Третий тип, – центральность вершины, как отражение ее независимости или эффективности, – аналогично предыдущей базируется на идее контроля коммуникаций, но с иной стороны, – субъект тем центральнее, чем меньше он зависит от других вершин. Независимость субъекта здесь определяется как степень близости ко всем другим вершинам. Наиболее простым вариантом определения данного свойства является мера близости:  $C'_C(k) = \frac{n-1}{\sum_j d(k,j)}$ .

Другая классификация рассматривает типы мер с точки зрения вовле-

ченности в структуру сетевых маршрутов. Можно заметить, что все меры центральности оценивают положение узла при хождении по сетевым маршрутам. Для разных мер этот процесс происходит с разными ограничительными условиями. Такие ограничения, как, например, учет лишь кратчайших путей или путей определенной длины порождает группу мер, объединенных типом маршрута. Кроме того, меры могут характеризовать как длину маршрута, так и их количество, исходя из этого различия выделяют классификацию по свойствам маршрута. Третье классификационное измерение ориентируется на позицию вершины на маршруте. Так, радиальными называют меры, учитывающие маршруты, которые начинаются или заканчиваются в оцениваемой вершине, а медиальными те, что учитывают количество маршрутов, проходящих через нее.

Так, меры делятся на группы, отличающиеся по фундаментальным признакам. Поэтому меры разных групп могут рассматриваться, как дополняющие, а меры внутри каждой группы, как альтернативные. Следовательно можно формировать набор мер для оценки каждой конкретной сети. Также нельзя не отметить, что каждая группа обладает и своими уникальными свойствами. Например, радиальные меры наиболее эффективно определяют принадлежность вершины к ядру, а медиальные выделяют «мосты» сети.

### **Понятие бизнес-процесса. Компоненты бизнес-процесса. Классификация бизнес-процессов**

Бизнес-процессы могут быть рассмотрены, как логические серии взаимозависимых действий или функций, объединенных общей целью, - производством продукта, полезного для клиента, и использующих для достижения этой цели ресурсы предприятия. Кроме того, каждый процесс измерим и имеет лицо, отвечающее за результаты этой деятельности.

Декомпозиция процесса на систему взаимосвязанных функций является отражением преобразования входов процесса в его выходы. Входы также можно разделить условно на три типа, в зависимости от их источника: владелец процесса, поставщик и владелец ресурса. Продукция, получаемая на выходе процесса, адресуется внешнему или внутреннему потребителю.

Выделяют два основных вида процессов – процессы основной деятельности и процессы управления, которые разделяют на процессы текущего

управления и развития. Процессы основной деятельности тесно связаны с производством продуктов для внешней среды, – клиентов компании. Текущее управление бизнес-процессами направлено на поддержку существующих деятельностей. Процессы развития направлены на изменение процессов с целью их улучшения.

Основываясь на данной классификации, аналитик может лучше идентифицировать процесс и глубже разобраться в его влиянии на работу предприятия, так как отношение его к тому или иному классу процессов позволяет судить о его декомпозиции.

### **Моделирование бизнес-процессов. Классификация методологий моделирования бизнес-процессов. Нотация IDEF0**

Моделирование бизнес-процессов является одним из способов их структурного представления. Существует ряд свойств, которым должны отвечать модели любых видов, а именно: конечность, упрощенность, адекватность и динамичность. Кроме того, модели бизнес-процессов должны содержать следующие компоненты: последовательность процессов и функции их исполнения; данные, необходимые при выполнении процессов; организационные структуры, обеспечивающие выполнение процессов; материальные и информационные потоки.

В зависимости от цели необходимо подобрать модель, используя которую удастся наиболее полно отразить изучаемый процесс, и следовать ее нотации. Основными подходы к построению и отображению моделей бизнес-процессов являются функциональный и объектно-ориентированный. Главным структурообразующим элементом в функциональном подходе является функция. Схемы бизнес-процесса здесь представлена в виде последовательности бизнес-функций, с которыми связаны материальные и информационные объекты, используемые ресурсы и так далее. Преимуществом функционального подхода является наглядность последовательности и логики операций в бизнес-процессах, а недостатком – некоторая субъективность в детализации операций. При необходимости проведения анализа процессов чаще используют функциональные методы моделирования, а для четкого обозначения объектов предпочтительнее объектно-ориентированный метод.

В частности, IDEF0 является одной из самых широкоиспользуемых

функциональных методологий моделирования. При создании новых систем, IDEF0 может применяться как для определения требований и функций, так и для разработки системы. При исследовании уже существующих систем, IDEF0 может использоваться для анализа функций и механизмов их исполнения. Между объектами и функциями возможны четыре отношения: управление, вход, выход и механизм. Таким образом происходит определение системных принципов нотации: входы преобразуются в выходы, управление ограничивает или предписывает условия выполнения преобразований, механизмы показывают, кто, что и как выполняет деятельность. Контекстная диаграмма, являясь вершиной древовидной структуры диаграмм, показывает назначение системы, ее основную функцию и ее взаимодействие с внешней средой. Далее над ней выполняется функциональная декомпозиция до достижения требуемого уровня детализации исследуемой системы. Диаграммы, которые описывают каждый такой фрагмент системы, называются диаграммами декомпозиции.

### **Анализ бизнес-процессов ПАО «Газпром» в области транспортировки газа. Описание предметной области**

Целью моделирования является анализ верхнего уровня деятельности группы компаний ПАО «Газпром» по продаже газа и выявление механизмов, участвующих в основной деятельности. В связи с этим целесообразно отдать предпочтение функциональным методам моделирования бизнес-процессов, в частности, нотации IDEF0.

ПАО «Газпром» – глобальная энергетическая компания. Является мировым лидером по добыче природного газа и надежным поставщиком для российских и зарубежных потребителей. Компании принадлежит крупнейшая в мире газотранспортная система. Следовательно, модель бизнес-процессов по продаже газа данной организацией должна отразить, главным образом, деятельности, выполняющие функции разведки новых месторождений, добыче газа, его переработке и транспорту.

### **Анализ модели деятельности группы компаний ПАО «Газпром» по продаже газа**

Согласно нулевому уровню модели управлением и одновременно ограничительной мерой деятельности служат некоторые законодательные аспек-

ты, природные особенности местности, социальные институты, к примеру, ЮНЕСКО, и решения органов высшего управления и контроля. Механизмы, используемые для получения продукта, являются капиталом компании. В получении продукта задействованы потоки: потенциальные партнеры, информация из внешней среды и ресурсы. В результате данной деятельности внешний потребитель получает поставленный газ, а внутренний отчетность, информацию о заключенных договорах и денежные отчисления.

Процессы на первом уровне декомпозиции можно разделить на три подгруппы: управление, основная деятельность и развитие. При этом, блоки управления задают ориентир будущей деятельности по обороту газа, определяют деловых партнеров, даты начала и окончания работ, подводят итоги. Блоки основной деятельности производят ключевой и наиболее специфический цикл работ, главным результатом деятельности этих блоков является непосредственно сам поставленный газ. Результатом работы блоков развития является обновленный капитал или же новый проект развития компании.

Очевидно, в соответствии с целью анализа, чтобы определить механизмы, непосредственно участвующие в работе с газом, необходимо рассмотреть декомпозицию блока основной деятельности, «производство и транспортировка газа». Данный блок, аналогично предыдущему, содержит все три вида процессов. Первые два блока, – управляющие, направлены на создание более детальных специфических планов, основой для которых служат выделенный бюджет, глобальный план производства, опыт, полученный за предыдущий рабочий период, и результаты геологических исследований, которые могут свидетельствовать, например, о наличии новых перспективных месторождений газа. Опыт и результаты исследований являются связующим звеном между блоками управления и блоками развития. На их основе строятся процессы основной деятельности, которые представляют строгую последовательную цепочку: добыча, транспортировка и экспорт газа. Механизмы, посредством которых осуществляется данная деятельность, являются частью капиталов дочерних или зависимых организаций ПАО «Газпром», при чем каждая деятельность выполняется отдельной компанией.

Такой подход к разделению ответственности обусловлен спецификой каждой из деятельностей. Месторождения, являются географически централи-



зованными и механизмы, используемые на разработке месторождений, имеют принципиальные отличия от механизмов транспортировки. Подобное разделение позволяет компаниям сконцентрироваться на одном направлении и строить свою деятельность более эффективно. Кроме того, среди транспортных компаний также существует разделение на внутренние и внешние. Внутренние несут ответственность за определенные участки труб и газовые хранилища в России, они доводят газ до местных распределительных станций и точек экспорта газа в страны зарубежья. После их достижения газ поставляется по газопроводам зарубежных компаний, чаще всего ПАО «Газпром» имеет некоторый пакет акций данных компаний и делит этот маршрут с другими, реже использует газопроводы компаний по договоренности.

Таким образом, была построена модель бизнес-процесса в рамках нотации IDEF0, позволяющая сделать целевые выводы о механизмах основной деятельности.

### **Анализ сети газопроводов ПАО «Газпром». Формирование базы данных**

После определения механизмов, участвующих в процессе производства и транспортировки газа, появляется возможность конкретизировать участников. За основу формирования последовательности пунктов передачи газа была взята карта газопроводов ПАО «Газпром».

В качестве примера можно рассмотреть путь от надымской группы месторождений, до выборгской компрессорной станции, которая является отправной точкой газа из России в Европу по газопроводу «Северный поток». После того, как в Надыме газ был получен и очищен компанией «Газпром добыча Надым» он поступает в Ухту, следовательно, теперь ответственность за газ несет транспортная компания «Газпром трансгаз Ухта». После, газ доходит до другой крупной транспортной компании, «Газпром трансгаз Санкт-Петербург», которая, в свою очередь, передает газ в Выборг, компании «Газпром СПГ Портовая», откуда газ поступает уже в зарубежные газотранспортные компании и доходит до своих потребителей.

Таким образом, была выстроена цепочка компаний, участвующих в транспортировке газа от места его получения, до одной из точек экспорта. Аналогично было построено еще несколько путей, в которых в целом участвует 41

компания, 4 из них занимаются добычей, остальные передачей и хранением газа. Для удобства работы в программе R, данные о связях были представлены матрицей смежности и сохранены в формате csv.

### Построение и анализ графа в R

На основе матрицы смежности строится граф. Он состоит из двух компонент связности, каждая из которых связна, но не сильно. Об этом свидетельствует и плотность графа, она равна 0,02, что довольно низко.

Наличие в графе двух компонент, ориентированность и низкая связность осложняет процесс анализа, в частности, измерение центральности по близости. Стоит также отметить, что в контексте данной сети каждый из видов мер приобретает более конкретное значение. Таким образом, центральность по степени определяет важность вершины в контексте ее участии в обороте газа. Центральность по посредничеству отражает насколько большая группа компаний зависит от конкретного узла. И, наконец, центральность по близости, – мера, которая хуже всего раскрывается в данном контексте, так как граф ориентированный и относительно однонаправленный, рассматривает лишь путь от мест газодобычи до потребителя, то каждая вершина в данном графе будет иметь множество расстояний, определяемых бесконечностью. Следовательно, приоритетными мерами для выбора вершины будут центральности по степени и по посредничеству.

Таким образом, для каждой компании были просчитаны четыре меры центральности. Но к рассмотрению стоит принять лишь те, что имеют наибольшие значения мер центральности. То есть следующие:

Компания	indegree	outdegree	betweenness	closeness
GZPD NADIM	0	0.025	0	<b>0.104</b>
GZPTG UKHTA	<b>0.05</b>	0.05	0.043	<b>0.103</b>
GZPD URENGOY	0	0.025	0	<b>0.104</b>
GZPTG TOMSK	<b>0.05</b>	0.025	0.001	0.025
GZPTG SAINT-P	0.025	0.1	0.036	0.043
WINGAS	<b>0.05</b>	0.025	<b>0.053</b>	0.033
GZP GERMANY	0.025	<b>0.125</b>	<b>0.056</b>	0.033
BULGARTRANGAZ	0.025	<b>0.125</b>	0.032	0.032

Итак, значения центральности по степени вхождения имеют достаточно

низкие показатели, максимального значения при этом достигают «Газпром трансгаз Ухта», «Газпром трансгаз Томск» и «WINGAS». Такой результат можно объяснить тем, что данные компании получают газ сразу от двух источников, в отличие от всех остальных, что обусловлено однонаправленностью сети. Центральность по степени выхода имеет более интересные результаты. В данном случае лидерами являются компании «GAZPROM Germania» и «Bulgartransgaz». Они имеют наибольшее число зависимых организаций, и это оправдано, например, «GAZPROM Germania» имеет газохранилища сразу в нескольких странах Европы, следовательно, имеет большие возможности по реализации газа. Центральность по посредничеству выделяет среди всех компаний «WINGAS» и «GAZPROM Germania». Действительно, данные предприятия участвуют в наибольшем количестве путей в качестве посредников. Мера центральности по близости выделяет три компании, – «Газпром добыча Надым», «Газпром добыча Уренгой» и «Газпром трансгаз Ухта». Их успех в рамках данной меры легко объяснить, – они задействованы в большей из двух компонент связности и являются источниками снабжения всех компаний подграфа, следовательно, имеют максимальное число вершин, путь до которых имеет вещественное значение.

На основании сделанных наблюдений можно заключить, что удаление компаний по добыче газа не повлечет за собой серьезного изменения структуры графа, но система по большей части прекратит работу, из чего следует, что они имеют чрезвычайную важность в рамках системы и неполадки на этих предприятиях имеют очевидный исход. Среди оставшихся «GAZPROM Germania» и «WINGAS» единственные, отмеченные сразу двумя мерами. Но «GAZPROM Germania» в данном сравнении предпочтительнее, так как она отмечена центральностью по степени выхода, следовательно имеет большее количество организаций, зависящих от нее, как от поставщика. Из этого следует, что исключение соответствующей вершины повлечет за собой более тяжелые последствия для системы.

Проверить верность выведенной гипотезы можно посредством удаления соответствующей вершины и последующим сравнением параметров полученного графа с его надграфом. Итак, в результате удаления вершины был получен подграф, число компонент связности которого больше на четыре. Та-

ким образом «Газпром» потерял связь с 11 компаниями, многие из которых также являются лидерами по поставкам газа внутри своей страны, что, соответственно, оказывает колоссальное влияние на прибыль компании. При этом плотность графа изменилась незначительно, что говорит о несостоятельности данной меры, как оценки состояния сети.

Таким образом, был произведен анализ сети посредством ее разрушения. В процессе анализа были даны оценки каждой из мер в контексте рассматриваемой системы, на основе чего были выбраны наиболее значимые, результаты которых привели к определению компании, оказывающей большое влияние на работу группы в сфере продажи газа. Стоит также отметить, что анализ и разрушение могут быть продолжены. Используя информацию, полученную в результате анализа, определяются стратегически важные объекты целостности системы, что позволяет управлению формировать цели развития компании, направление деятельности оптимизации.

Кроме того, процесс анализа можно улучшить, придав ему больше конкретики. Например, взвесив ребра в соответствии с пропускной способностью газопроводов можно произвести анализ графа с точки зрения оптимизации потоков. Придав вершинам вес, характеризующий потребляемый ими газ, можно опираться в анализе на степень их вклада в капитал.

### **Заключение**

Целью данной бакалаврской работы был анализ системы взаимосвязи компаний-посредников Группы «Газпром» в рамках поставки газа посредством трубопроводов и выявление вершин, имеющих наибольшую значимость для системы. В результате были разобраны и усвоены принципы анализа систем в рамках графовой грамматики и способы производства анализа бизнес-процессов.

На языке R был разработан программный код, позволяющий производить анализ графов, и IDEF0 модель бизнес-процесса по продаже газа Группой, позволяющая установить участвующие в нем механизмы.

В результате работы были подкреплены знания в области теории графов и моделирования бизнес процессов. А также получены новые навыки работы на языке R, в частности, в рамках теории графов и методов их анализа.