

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)  
Экономический факультет  
Кафедра экономики и управления инновационными системами

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

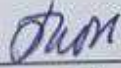
**СЕТИ ПЕТРИ**

Работу выполнила \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Е.Э. Пашабекова  
(подпись)

Направление подготовки 27.03.03. Системный анализ и управление

Направленность (профиль) Интеллектуальная бизнес-аналитика и управление  
экономическими процессами

Научный руководитель  
канд. экон. наук, доц. \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Г.Н. Библя  
(подпись)

Нормоконтролер  
канд. экон. наук, доц. \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Г.Н. Библя  
(подпись)

Краснодар  
2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	2
1 Сети Петри.....	4
1.1 Определение сетей Петри. История создания.....	4
1.2 Способы задания сетей Петри .....	8
1.3 Функционирование сетей Петри и их анализ .....	11
2 Применение сетей Петри в анализе предприятия.....	14
2.1 Характеристика компании ПАО «ГМК «Норильский никель» .....	14
2.2 Организационно-управленческая структура компании .....	15
2.3 Функциональная модель предприятия.....	17
3 Построение схемы транспортного обслуживания компании на основе сетей Петри .....	25
3.1 Разработка сети транспортного обслуживания .....	25
3.2 Реализация сети Петри .....	27
Заключение.....	30
Список использованных источников.....	31

## ВВЕДЕНИЕ

Сети Петри позволяют ясно моделировать бизнес-процессы предприятия с использованием позиций (состояний системы), переходов (событий) и дуг, что дает возможность анализировать и оптимизировать эффективность процессов. Также с их помощью можно моделировать производственные системы, управление запасами, логистику и распределенные процессы на предприятии для оценки производительности и выявления узких мест. Анализ, проведенный на основе моделей сетей Петри, позволяет выявить узкие места, излишние операции на предприятии и предложить меры по оптимизации работы.

Сегодня актуальной проблемой современного управления предприятием является решение возникающих проблем, для решений которых затрачивается много ресурсов и времени. Модели, построенные на основе сетей Петри позволяют упростить решение проблем, связанных с функционированием предприятия, его развитием, логистикой, оптимизацией ресурсов. Помимо выявления слабых мест предприятия, сети Петри могут быть использованы для планирования и управления проектами на предприятии, предсказания времени выполнения задач, анализа критических путей и выявления рисков.

Целью курсовой работы является исследование сетей Петри и их применение в улучшении управления промышленным предприятием ПАО «ГМК «Норильский никель».

В соответствии с указанной целью необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить теоретические стороны сетей Петри и построение модели при их помощи,
- 2) проанализировать предприятие ПАО «ГМК «Норильский никель» и выявить проблемы,
- 3) построить дерево целей для решения проблемы,

4) спроектировать решение проблемы на основе анализа.

Объектом исследования данной работы является внутренняя и внешняя среды компании ПАО «ГМК «Норильский никель».

Предметом исследования данной работы является модель сетей Петри.

Теоретической базой работы послужили научные работы В.В. Васильева, В.В. Кузьмука, В.Г. Лазарева, Е.И. Пийля, С.В. Емельянова.

Методологическая база исследования включает в себя систематизацию данных, классификацию, логический и сравнительный анализ, метод обобщения и структуризацию.

В качестве информационной базы исследования были использованы труды известных отечественных и зарубежных ученых: В.В. Васильева, В.В. Кузьмука, В.Г. Лазарева, Е.И. Пийля, С.В. Емельянова

Структура работы определена характером исследуемых в ней вопросов. Курсовая работы содержит: введение, два раздела, шесть подразделов, заключение, список использованных источников.

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель и задачи, объект и предмет данной работы.

В первой главе рассмотрены теоретические вопросы, основные концепции и понятия, связанные с моделью сетей Петри.

Во второй главе проведен анализ организационной структуры предприятия ПАО «ГМК «Норильский никель», выявлена основная проблема и приведен способ ее решение.

В заключении сформулирован основной вывод работы, рассмотрены недостатки и пути усовершенствования.

# 1 Сети Петри

## 1.1 Определение сетей Петри. История создания

Развитие научно-технического прогресса привело к возникновению теории сетей Петри. Данная теория разработана в 1962 немецким математиком Карлом-Адамом Петри в его работе «Взаимодействующие автоматы», в которой была построена сеть для моделирования ленты машины Тьюринга. Появление этой теории связано с возникшей возможностью построения многопроцессорных систем, то есть моделей параллельных процессоров. Такие модели потребовали создания новых способов их отображения. Именно, Сети Петри смогли объединить работу нескольких таких устройств, описываемых отдельными связанными автоматами.

Сети Петри – это математический инструмент для создания моделей различных систем, а также анализа поведения уже существующих и функционирующих. Реальные системы функционируют во времени и в пространстве. В любой системе: социальной, биологической, физической, технической при определенных условиях происходят какие-то события или действия. События и условия – это два основополагающих понятия, которые дают возможность построить модель функционирования той или иной системы в виде сети Петри. [8]

Сети Петри представляют собой интеграцию графов и дискретных динамических систем. Они могут быть статической и динамической моделью представляемого объекта. При этом отсутствие строго фиксированного аналитического порядка при определении отношения вход-выход сети делает эту систему алгоритмически неопределенной.

Основными элементами сети Петри являются:

- 1) конечное множество позиций  $P$ ,
- 2) конечное множество переходов  $T$ ,
- 3) входная функция  $I$ ,

4) выходная функция  $O$ .

Входные и выходные функции связаны с переходами и позициями. Входная функция  $I$  представляет собой переход  $t_j$  с набором позиций  $I$ , называемых входными позициями перехода. Выходная функция  $O$  представляет переход  $t_j$  с набором позиций  $O$ , называемых позициями выходного перехода. Именно позиции и переходы сетей Петри определяют ее структуру. [7]

Сеть Петри представляет собой двудольный граф с двумя типами вершин, где вершина  $p_i$  из множества  $P$  обычно изображается в виде круга, а вершина  $t_j$  из множества  $T$  – полочкой. Дуги графа могут идти от кругов к полочкам и от полочек к кругам, причем любая позиция является входной или(и) выходной позицией одного или нескольких переходов.

Наборы входных и выходных позиций перехода  $T$  обозначаются как  $I(t_j)$  и  $O(t_j)$  соответственно. Аналогично, записи  $I(p_i)$  и  $O(p_i)$  будут служить обозначением множества переходов, которые являются входом и выходом данной позиции, соответственно. Поэтому сеть Петри может быть задана в виде:  $S = \{P, T, I, O\}$ .

Представление сетей Петри в виде двудольных графов позволяет задавать структуру сетей Петри статически. Динамика же в модель вносится механизмом изменения маркировки (обозначения) позиций и согласования правил срабатывания (реализации) переходов. Маркировка сети определяет некоторые целые числа нескольким позициям графа. В соответствующих кружках которого рисуют определенное число (жирных) точек, носящих название маркеров (фишек). Перемещение маркеров по сети осуществляется путем срабатывания ее переходов. Сработать может только возбужденный (возможный) переход, т. е. такой переход  $T$ , во всех входных позициях  $I$  которого содержится хотя бы по одному маркеру. Срабатывание перехода может происходить в любой конечный промежуток времени после возбуждения перехода. Результатом срабатывания является изъятие из всех входных позиций, сработавшего перехода по одному маркеру и добавление во

все его выходные позиции также по одному маркеру. Срабатывание перехода считается неделимым действием. Предполагается, что удаление маркера из всех входных позиций и его перемещение во все выходные позиции происходит мгновенно и понимается, так что задержка равна нулю. Однако, в некоторых приложениях эта неделимость может быть нарушена. [10]

Правила срабатывания переходов определяют причинно-следственные связи. Как только созрели известные нам объективные условия какого-либо события, это событие может произойти. Однако время его наступления заранее неизвестно. Это связано с тем, что возможно существуют другие, неизвестные нам или несущественные для нас причины, которые в конечном итоге неизбежно приводят к наступлению события, которое нас интересует.

После наступления события возникает новое условие – результат, который в свою очередь может стать причиной последующих событий. При этом первоначальная причина может исчезнуть или сохраниться. Это возможно, как за счет того, что ресурс маркеров полностью не исчерпан, так и за счет регенерации маркеров (если позиция является одновременно выходной и входной).

В общем случае, когда срабатывает какой-либо возбужденный переход, маркировка сети меняется. Хотя при этом, может измениться только маркировка входных и выходных позиций возбужденного перехода. Маркировка же позиций, которые являются одновременно входом и выходом для данного перехода, не изменяется. [15]

Текущую маркировку сети Петри воспринимают как состояние сети на данный момент времени. Срабатывание перехода возбуждения, который является локальным действием, обычно ведет к изменению ее маркировки и, следовательно, к изменению ее глобального (полного) состояния. Переход от одной маркировки к другой в результате срабатывания возбужденных переходов означает работу сети Петри. Поэтому можно считать, что динамика поведения сети Петри временного функционирования может быть описана так:

$$S = \{M_0, M_D\}, \quad (1)$$

где  $M_0$  – начальная маркировка;  $M_D$  – множество допустимых маркировок (состояний) сети Петри, достигнутых из  $M_0$ .

Изображение маркировки может быть задано вектором  $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ , число компонент которого равно числу позиций сети Петри, а значение  $i$ -й компоненты ( $1 \leq i \leq n$ ) есть натуральное число маркеров в позиции. На рисунке 1 представлена сеть с семью позициями  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_7\}$  и пятью переходами  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_5\}$ , которая может быть описана следующим образом:

$$\begin{aligned} I(t_1) &= \{p_1, p_2\}, O(t_1) = \{p_3, p_4\}, \\ I(t_2) &= \{p_3\}, O(t_2) = \{p_5\}, \\ I(t_3) &= \{p_3, p_6\}, O(t_3) = \{p_5, p_6\}, \\ I(t_4) &= \{p_4\}, O(t_4) = \{p_7\}, \\ I(t_5) &= \{p_7\}, O(t_5) = \{p_2\}. \end{aligned} \quad (2)$$

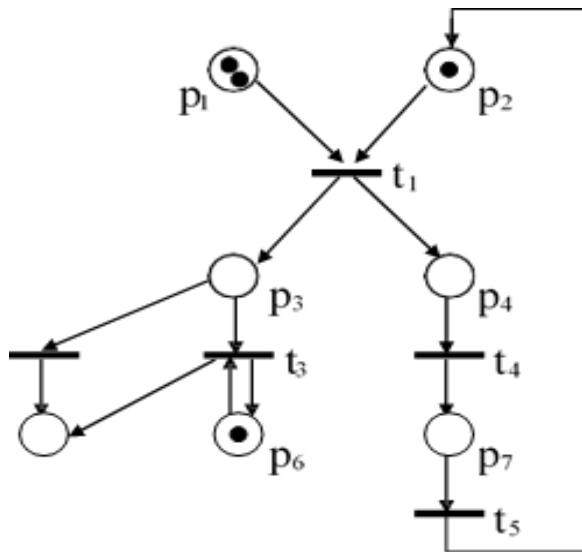


Рисунок 1 – Пример сети Петри

Для того, чтобы описать динамику поведения сети Петри обычно используют диаграммы достижимых состояний (маркировки), для краткости, именуемые просто диаграммами. Они представляет собой орграф, вершинами которого являются достижимые маркировки из множества  $M_D$ , а дуги направлены из  $M_A$  в  $M_B$ . При необходимости дуги помечаются



обозначениями тех переходов, срабатывание которых является причиной смены маркировки. [16]

Как правило, одной начальной маркировке может соответствовать несколько маркировок, имеющих результат. Достижение каждой из которых возможно, если скорости срабатывания переходов имеют определенное распределение. Асинхронный характер процессов отражается в модели тем, что не указывает о времени срабатывания переходов (которые предполагаются лишь конечными), и гарантирует недетерминизм модели. Этот недетерминизм проявляется в двух формах. В общем случае неизвестно, по какой траектории пойдет развитие процесса (как он будет реализован) и каким будет его конечное состояние. Недетерминизм – очень полезное свойство модели, так как он может отражать наше незнание ненужных деталей рассматриваемого процесса и, более того, позволяет их игнорировать. Также сеть Петри обладает возможностью синхронизации и параллелизма. Наличие указанных принципиальных свойств модели порождает широкое разнообразие видов поведения (множеств типов диаграмм). Набор допустимых состояний может быть не конечным, так как в зависимости от позиции сетей возможно накопление бесконечного количества маркеров. Такие сети смоделированы циклическими или автономными процессами. Наконец, в цикл могут быть втянуты только состояния из некоторого допустимого подмножества состояний. Поэтому встает задача типизации сетей Петри, связанная с результатами их поведения. В связи с вышесказанным сети Петри необходимо классифицировать. [9]

## **1.2 Способы задания сетей Петри**

Рассмотрим представления сетей Петри, среди которых можно выделить три эквивалентных способа задания, а именно графический, аналитический и матричный.

## 1. Графический способ

На рисунке 2 приведено графическое представление сети Петри, в которой  $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$  и  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$ .

Дуги могут идти только из позиции в переход или из перехода в позицию. Если кратность всех дуг равна 1, то сети называются ординарными. Сети с кратными дугами называются обобщенными.

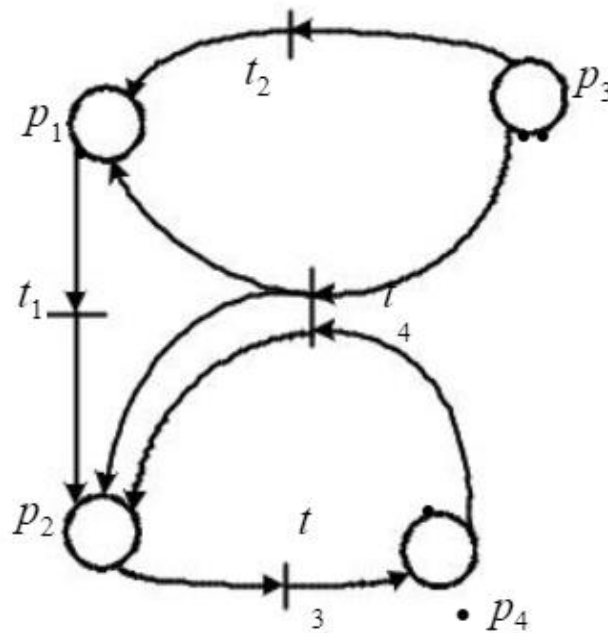


Рисунок 2 – Графическое представление сети Петри

При создании графической модели сети отражаются два понятия системы: события и условия. Возможность реализации событий зависит от выполнения определенных условий. Условиям же соответствуют позиции сети, а происходящим в системе событиям – переходы (рис. 3).

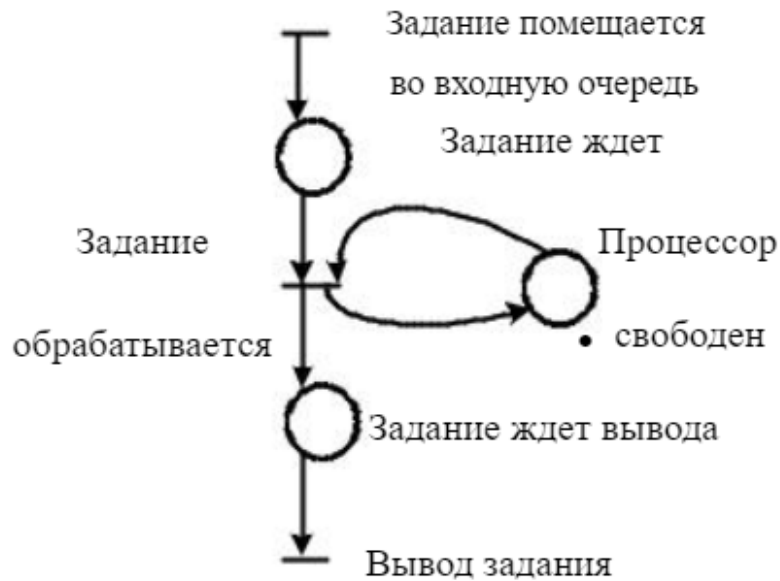


Рисунок 3 – Процесс работы сети

Для того, чтобы представить динамику работы сети позициям могут присваиваться фишки, которые изображаются точками внутри вершин. Такое присвоение называют маркировкой, или разметкой. Переходя от одной маркировки к другой сети Петри приходят в работу. [17]

## 2. Аналитический способ

При аналитическом способе задания сеть Петри задается  $C = (P, T, F, H, m_0)$ , где кроме множеств позиций  $P$  и переходов  $T$ , задаются входная  $F$  и выходная  $H$  функции. Через  $F$  обозначается множество входных позиций, а через  $H$  – множество выходных позиций перехода  $t_j$ ;  $m_0$  – начальная маркировка сети. Так, например, сеть, изображенная на рисунке 2, может быть представлена как  $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ ,  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$ . [1]

## 3. Матричный способ

Сеть Петри может задаваться с помощью двух матриц инцидентности  $Q$  и  $R$ . Каждая матрица имеет  $n$  столбцов (по числу вершин  $p_i$ ) и  $k$  строк (по числу вершин переходов  $t_i$ ). Нули и единицы, отражающие значения соответствующих элементов  $q_{jt}$  и  $r_{jt}$  заданные выражениями (3) и (4), являются элементами матриц:

$$Q = |q_{jt}| = \begin{vmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{k1} & \cdots & q_{kn} \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$R = |r_{jt}| = \begin{vmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & \cdots & r_{kn} \end{vmatrix} \quad (4)$$

Элемент  $q_{jt}$  в выражении (1) равен единице, если сеть Петри содержит дугу  $(p_t, t_j)$ , принадлежащую  $Q$ . Нулем отображается отсутствие такой дуги в матрице  $Q$ . Элемент  $r_{jt}$  в выражении (4) равен единице, если в сети имеется дуга  $(p_t, t_j)$ , принадлежащая  $R$ , и нулю в противном случае.

Если сеть Петри задана одним из описанных выше способов (графическим, аналитическим или матричным), можно перейти к любому другому способу задания сети, а результаты, полученные с помощью одного способа, можно интерпретировать для другого. Чаще всего сети Петри задаются графическим способом, что отразить наглядность, полноту и однозначность решения проблемы. При исследованиях сетей Петри с помощью одной или нескольких электронных вычислительных машин используют аналитический или матричный способ задания. [2]

### 1.3 Функционирование сетей Петри и их анализ

Сеть Петри начинает работать путём срабатываний переходов, ведущих к изменению маркировки сети. При переходе сети от одной разметки к другой меняется условие в системе, моделируемой данной сетью. Изменение условий в свою очередь приводит к свершению событий. Здесь уместно ввести два новых понятия, которыми оперируют специалисты: предусловие и постусловие. Предусловие моделируется входными позициями данного перехода, а постусловие - выходными позициями. Входная позиция данного перехода может быть выходной для другого перехода и наоборот. Срабатывание перехода удаляет фишки, представляющие выполнение

предусловия, и образуют новые фишки, представляющие выполнение (наличие) постуловий и т.д. Сеть Петри начинает функционировать при начальной разметке  $\mu_0$ , а смена разметок происходит при срабатывании одного из разрешённых переходов. Переход  $t_j$  маркированной сети Петри с маркировкой  $\mu$  называется разрешённым, если в каждой входной позиции  $t_j$  находится не меньше фишек, чем из этой позиции исходит дуг в  $t_j$ . Всякий разрешённый переход может запуститься. В результате запуска перехода маркировка сети  $\mu$  изменяется на новую по представленному ниже правилу. При этом при запуске перехода  $t_j$  из всякой входной позиции  $p_i$  перехода  $t_j$  удаляется столько фишек, сколько дуг ведет из  $p_i$  в  $t_j$ , а в каждую выходную позицию  $p_k$  помещается столько фишек, сколько дуг ведет из  $t_j$  в  $p_k$ . [3]

Таким образом, сеть Петри функционирует, переходя от разметки к разметке, например, от некоторой, которую называют начальной, к некоторой промежуточной, или к заключительной (тупиковой) разметке, если она достижима. Тупиковой называют разметку, при которой не может сработать ни один переход. Если в сети Петри имеется один переход, который может сработать, он обязательно сработает. Если могут сработать два или более переходов, то они срабатывают последовательно, но недетерминировано, т.е. нельзя заранее знать, какой именно переход должен сработать. Таким образом, функционирование (выполнение) сети Петри можно трактовать как недетерминированную последовательность дискретных событий, т.к. выбор очередного запускаемого перехода осуществляется случайно, а возникающий порядок появления событий неоднозначен.

Перейдем к анализу сетей Петри, который включает в себя ключевую задачу – определение достижимости. Основная цель – установить, можно ли достичь определенной маркировки  $\mu$  в данной сети или нет. Важность этой задачи обусловлена тем, что маркировка отражает состояние системы. Решение задачи достижимости поможет определить, достижимо ли определенное состояние, является ли оно «плохим» или «хорошим» для системы. Для анализа можно воспользоваться деревом достижимости. В

котором вершинам соответствуют возможные маркировки, а дугам – переходы. Корневая вершина дерева начинается с начальной маркировка, от которой на каждом шаге строится очередной ярус дерева. [5]

Различают следующие типы вершин дерева достижимости и соответствующих маркировок:

- 1) граничные – вершины, построенные на очередном шаге алгоритма,
- 2) терминальные – граничные маркировки, из которых нет разрешённых переходов,
- 3) дублирующие – граничная вершина с маркировкой, уже существующей в дереве,
- 4) внутренние – вершина дерева, не являющаяся терминальной, граничной либо дублирующей.

С целью эффективного анализа сетей Петри с помощью дерева достижимости специалисты пришли к выводу, что необходимо найти средства ограничения дерева до конечного размера, чтобы представить бесконечные множества конечными. Тогда это приведет к потере информации, однако существенно упростит задачи анализа сложных сетей Петри. [11]

Для обеспечения конечности дерева достижений и сокращения разметок каждого шага используют следующие приёмы:

– не строятся исходящие дуги для терминальных и дублирующих вершин,

– используется расширенная маркировка введением специального символа  $\omega$ , который обозначает неограниченное число фишек в позиции, причём для любого целого положительного  $a$  справедливо:

$$\omega + a = \omega - a = \omega + \omega + \omega - \omega = \omega. [4]$$

## **2 Применение сетей Петри в анализе предприятия**

### **2.1 Характеристика компании ПАО «ГМК «Норильский никель»**

Публичное акционерное общество «ГМК «Норильский никель», краткое наименование – ПАО «ГМК «Норникель». Это крупнейшая металлургическая компания в России и одна из крупнейших в мире по производству никеля, меди и палладия. Основные активы компании находятся в городе Норильск, Красноярский край. Компания была основана в 1935 году в СССР. Основателем стали государственные органы СССР, которые решили объединить несколько предприятий на севере Красноярского края для разработки никеля, меди, палладия и других ценных металлов на Таймырском полуострове.

Компания «Норникель» занимается добычей и переработкой полезных ископаемых. Например, никель, медь, палладий. Также компания выполняет геологоразведочные работы по поиску новых месторождений и развитию существующих. «Норникель» экспортирует продукцию на мировой рынок, главным потребителем являются страны Азии, Европы и Америки.

Система управления базируется на прозрачности, ответственности и эффективности принятия стратегических решений. «Норникель» придерживается высоких стандартов качества продукции и стремится к улучшению технологий производства. Система управления направлена на обеспечение стабильного роста прибыли и роста стоимости акций для инвесторов.

Основным рынком являются рынки ценных металлов. Среди основных конкурентов находятся Бразильская компания Vale S.A., австралийская компания BHP Billiton, южноафриканская компания Anglo American и канадская компания Teck Resources.

Специфичные черты экономико-организационной и технологической деятельности:

1) «Норникель» контролирует не только добычу, но и весь цикл их переработки, начиная с обогащения руды и заканчивая производством высококачественных сплавов,

2) на протяжении последних лет компания активно развивает непрофильный сектор,

3) компания активно внедряет инновационные технологии, такие как автоматизация, цифровизация, космические технологии и др.,

4) «Норникель» разнообразил производство различными металлами.

## 2.2 Организационно-управленческая структура компании

Генеральный директор осуществляет управление компанией ПАО «Норильский никель». Он принимает стратегические решения по развитию предприятия и контролирует деятельность исполнительного и операционного управления. Директору подчиняются главный инженер, заместитель директора по производству, заместитель директора по экономике и заместитель директора по кадрам. Все они регулируют и налаживают работу своих отделов. Построим организационно-управленческую схему компании (рис. 4):



Рисунок 4 – Организационно-управленческая структура компании ПАО «Норильский никель»



Генеральный директор осуществляет управление предприятием. Он назначается на должность учредителем на контрактной основе, при этом стаж работы по специальности в этой компании не менее 5 лет. В его должностные обязанности входит: руководство обеспечивающей и производственной деятельностью компании, организация налаженной работы эффективного взаимодействия всех подразделений компании, организация сотрудников и контроль их выполнения должностных обязанностей. Генеральному директору подчиняются главный инженер, заместитель директора по производству, заместитель директора по экономике и заместитель директора по кадрам и быту, которые составляют управленческое звено. Главный инженер нанимается на работу и принимается на должность генеральным директором. Осуществляет налаженную и структурированную работу отдела по технической безопасности, отдела геологии, отдела связи, отдела механики, технического отдела, контролирует и помогает в налаживании взаимодействия сотрудников отделов. Заместитель директора по производству подчиняется генеральному директору, принимается на должность также директором. Осуществляет работу и функционирование производственного отдела. Контролирует и налаживает работу отдела, устраняет ошибки при производстве. Заместитель директора по экономике нанимается на работу и принимается на должность генеральным директором. В его должностные обязанности входит оптимизация денежного оборота, обеспечение эффективного использования вложенного капитала, максимизация прибыли при допустимом уровне риска, обеспечение экономической стабильности компании. Ему подчиняются плановый отдел, отдел бухгалтерии и финансов, отдел материально-технического снабжения и отдел сбыта продукции. Заместитель директора по кадрам и быту. Он нанимается на работу и принимается на должность генеральным директором. Организует управление, формирование и развитие персонала, формирует кадровую политику и определяет основные направления и меры её реализации.

## 2.3 Функциональная модель предприятия

Компания ПАО «Норникель» состоит из подсистем, отвечающих за работу отделов предприятия. Они выполняют определенные функции в соответствии с общими целями и стратегией компании. Составим функциональную схему предприятия (рис. 5):



Рисунок 5 – Функциональная модель предприятия

Подсистема производства организует контроль за должным качеством продукции, а также следит за поставками товара в точки продаж. Также в обязанности данной подсистемы входит разработка инноваций, а именно обновление выпускаемой продукции и расширение ассортимента.

Подсистема снабжения занимается обеспечением предприятия материальными ресурсами. В их обязанности входит нахождение ресурсов по наиболее выгодной для компании цене и должного качества.

Подсистема управления персоналом осуществляет набор персонала, его подготовку или переподготовку, повышение квалификации специалистов. Также в ее обязанности входит адаптация новых работников, текущая периодическая оценка кадров.

Подсистема продаж руководит сбытом продукции компании, продажами основной продукции, организует и контролирует работу менеджеров по продажам. Также в задачи этой подсистемы входит анализ конкурентов на рынке для разработки эффективных стратегий по продаже продукции.

Подсистема управления финансами занимается распределением финансовых ресурсов, мониторингом финансовых показателей и анализом результатов.

Маркетинговая подсистема занимается анализом рынка конкурентов, потребителей, прогнозированием спроса на товар и услуги. Отдел занимается разработкой маркетинговых стратегий, при этом учитывает целевую аудиторию, сегментирование на рынке, спрос.

Проанализировав систему ПАО «Норильский никель» можно выявить некоторые цели для повышения прибыли. Для наглядного примера построим дерево целей (рис. 6).



Рисунок 6 – Дерево целей

Рассмотрим функциональные задачи и подзадачи ПАО «Норникель» и составим таблицу.

Таблица 1 – Функциональные задачи компании

Название функциональной задачи	Номер	Содержание функциональной задачи
1) Управление развитием	1.1	Руководство, контроль за формированием отчётности
	1.2	Разработка и реализация стратегий компании
	1.3	Анализ и оценка результатов развития
	1.4	Контроль состояния используемого оборудования
2) Производственная	2.1	Контроль за технологическими процессами при производстве продукции
	2.2	Обеспечение должного качества готовой продукции
	2.3	Контроль поступления ресурсов для производства
3) Сбытовая	3.1	Продажа товаров
	3.2	Контроль логистических операций
	3.3	Мониторинг рыночной ситуации, конкурентов
4) Маркетинговая	4.1	Разработка маркетинговых планов
	4.2	Продвижение продукции
5) Кадровая	5.1	Наем и увольнение сотрудников
	5.2	Контроль работы сотрудников

На основании таблицы 1 построим организационно-функциональную модель компании ПАО «Норникель», в которой отобразим роль и обязанности сотрудников, по какой-либо функциональной задачи.

Таблица 2 – Матрица ответственности

Исполнители	Название функциональной задачи													
	Управление развитием				Производственная			Сбытовая			Маркетинговая		Кадровая	
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	5.1	5.2
Генеральный директор	+	+	+	/	+	*	/	/	/	/	/	/	/	/
Финансовый директор	+	*	+	/	/	/	+	*	*	/	/	/	*	/
Директор по маркетингу	/	+	+	/	/	/	/	*	/	+	+	+	/	/

Продолжение таблицы 2

Исполнители	Название функциональной задачи													
	Управление развитием				Производственная			Сбытовая			Маркетинговая		Кадровая	
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	5.1	5.2
Главный бухгалтер	+	*	+	/	/	/	+	/	*	/	*	/	*	/
Маркетологи	/	*	*	/	/	/	/	/	/	*	*	*	/	/
Менеджер по сбыту	/	*	*	/	*	*	+	*	*	/	/	/	/	/
Отдел продаж	/	*	+	/	/	/	/	+	/	*	*	*	/	/
Главный инженер	+	/	*	+	+	+	*	/	/	/	/	/	*	+
Инженеры	*	/	/	+	*	*	/	/	/	/	/	/	/	*
Бухгалтер	*	*	/	/	/	/	*	/	/	/	/	/	/	/
Директор по кадрам	+	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	+	/

+ – Ответственный за процесс,

• – Основное участие в процессе,

/ – Частичное участие в процессе.

Проанализировав дерево целей и составленные таблицы, можно сделать следующие выводы: главной целью компании ПАО «Норникель» является повышение прибыли. Для достижения этой цели необходимо решить три задачи: увеличение товарооборота, повышение квалификации сотрудников и обеспечение конкурентоспособности.

Рассчитаем коэффициенты относительной важности (КОВ) для каждой подцели построенного дерева целей. Для этого составим таблицы, содержащие в себе оценки опрошенных экспертов, а также рассчитаем КОВ.

Таблица 3 – Расчет КОВ дерева целей (1-ый уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4			
Увеличить товарооборот	1	2	1	1	5	-3	9
Повышение квалификации работников	2	1	2	3	8	0	0

Продолжение таблицы 3

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4			
Обеспечить конкурентоспособность	3	3	3	2	11	3	9
Контрольная сумма	6	6	6	6	24		18
Среднее					8		

$$W = 12 * 18 / (4^2 * (3^3 - 3)) = 0,5625 - \text{средняя степень согласованности.}$$

Таблица 4 – Расчет КОВ дерева целей (1-ый уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	КОВ
	1	2	3	4		
Увеличить товароборот	2	1	2	2	7	0,583
Повышение квалификации работников	1	2	1	0	4	0,33
Обеспечить конкурентоспособность	0	0	0	1	1	0,083
Всего					12	1

Таблица 5 – Расчет КОВ дерева целей (2-ой уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4			
Увеличить производство товаров	4	3	4	4	15	5	25
Увеличить разнообразие ассортимента товаров	2	3	2	3	10	0	0
Обеспечить эффективность рекламы	3	2	3	2	10	0	0
Улучшение взаимодействия с клиентами	1	2	1	1	5	-5	25
Контрольная сумма	10	10	10	10	40		50
Среднее					10		

$$W = 12 * 50 / (4^2 * (4^3 - 4)) = 0,625 - \text{средняя степень согласованности.}$$

Таблица 6 – Расчет КОВ дерева целей (2-ой уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	КОВ	Нормированный КОВ
	1	2	3	4			
Увеличить производство товаров	0	1	0	0	1	0,042	0,0243
Увеличить разнообразие ассортимента товаров	2	1	2	1	6	0,25	0,146
Обеспечить эффективность рекламы	1	2	1	2	6	0,25	0,146
Улучшение взаимодействия с клиентами	3	2	3	3	11	0,458	0,267
Всего					24	1	0,583

Таблица 7 – Расчет КОВ дерева целей (2-ой уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4			
Проводить курсы по повышению квалификации	2	2	3	4	11	1	1
Тестирование специалистов	4	4	3	3	14	4	16
Улучшить условия труда	1	2	1	1	5	-5	25
Повысить мотивацию труда	3	2	3	2	10	0	0
Контрольная сумма	10	10	10	10	40		42
Среднее					10		

$W = 12 \cdot 42 / (4^2 \cdot (4^3 - 4)) = 0,525$  – средняя степень согласованности.

Таблица 8 – Расчет КОВ дерева целей (2-ой уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	КОВ	Нормированный КОВ
	1	2	3	4			
Проводить курсы по повышению квалификации	2	2	1	0	5	0,21	0,06875
Тестирование специалистов	0	0	1	1	2	0,083	0,0275

Продолжение таблицы 8

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	КОВ	Нормированный КОВ
	1	2	3	4			
Улучшить условия труда	3	2	3	3	11	0,458	0,151
Повысить мотивацию труда	1	2	1	2	6	0,25	0,0825
Всего					24	1	0,33

Таблица 9 – Расчет КОВ дерева целей (2-ой уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	d	d <sup>2</sup>
	1	2	3	4			
Разработать стратегию продажи товара	3	2	2	1	8	0	0
Провести анализ конкурентов на рынке	2	3	3	3	11	3	9
Провести мониторинг спроса продукции	1	1	1	2	5	-3	9
Контрольная сумма	6	6	6	6	24		18
Среднее					8		

$W = 12 \cdot 18 / (4^2 \cdot (3^3 - 3)) = 0,5625$  – средняя степень согласованности.

Таблица 10 – Расчет КОВ дерева целей (2-ой уровень)

Подцели	Эксперты				Сумма рангов	КОВ	Нормированный КОВ
	1	2	3	4			
Разработать стратегию продажи товара	0	1	1	2	4	0,33	0,0276
Провести анализ конкурентов на рынке	1	0	0	0	1	0,083	0,0069
Провести мониторинг спроса продукции	2	2	2	1	7	0,583	0,048
Всего					12	1	0,083



На основе исследования показателя КОВ, рассчитанного в таблицах 4, 6, 8, 10, из дерева целей видно, что наиболее важной подцелью является увеличение товарооборота (0,583). Из этого следует, что специалистам нужно делать акцент на увеличении производства товаров и разнообразии ассортимента товаров, обеспечении эффективности рекламы, улучшению взаимодействия с клиентами. Также необходимо, чтобы повышалась квалификация специалистов. Так как недостаточно образованные специалисты могут неправильно вести ход производства. Помимо этого, следует обеспечивать хорошую конкурентоспособность. Все эти подцели в детализированном виде представляют нашу главную единую цель и поэтому, эффективно распределяя ресурсы для достижения всех этих подцелей, и, достигая их, мы достигаем и главную цель.

### **3 Построение схемы транспортного обслуживания компании на основе сетей Петри**

#### **3.1 Разработка сети транспортного обслуживания**

Процесс транспортного обслуживания предприятий и организаций является технологическим процессом. Его эффективность зависит от большого множества случайных факторов, что делает сложным процесс принятия управленческих решений.

Использование методологии построения сети Петри позволяет наглядно рассмотреть варианты исхода событий, применение их при моделировании процесса технологического обслуживания дает возможность решать задачи определения причинно-следственных связей. Результаты моделирования позволяют оценить качественные характеристики исследуемого процесса. В ситуации, если аналитически невозможно однозначно определить вероятности, результаты создания схемы будут некорректными или недостаточно обоснованными.

С помощью моделей сетей Петри возможно наглядно отобразить моделируемый процесс, что существенно упрощает процесс разработки и отладки процессов производства. С применением данного аппарата можно смоделировать процесс обработки транспортных средств в транспортных узлах с использованием в качестве исследуемых значений различные варианты развития событий.

В данной курсовой работе внешняя среда организации включает такие элементы, как потребители, поставщики, региональное правительство и конкуренты. От данных объектов напрямую зависит прибыль организации. В пункте 2.3 наиболее важной целью определено увеличение товарооборота (0,583). Рассмотрим цель улучшения взаимодействия с потребителями. Улучшить отношения с покупателями можно за счет разработки эффективной системы поставки товара. Составим схему транспортного обслуживания,

чтобы отобразить, а после наладить систему доставки продукции.  
Рассмотрим две ситуации принятия и обработки заявки:

1) когда следует обратиться с доставкой товара к постоянному грузоперевозчику;

2) когда следует взамен прошлого грузоперевозчика выбрать другого, на более выгодных условиях.

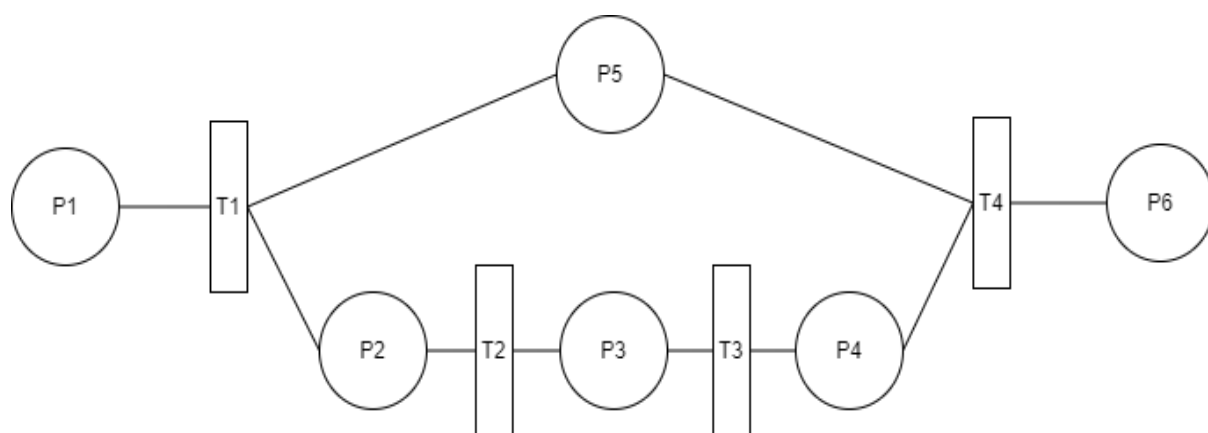


Рисунок 7 – Схема связей процесса обслуживания заявки от перевозчика

Модель на рисунке 7, реализованная в сети П, содержит 6 позиций и 4 перехода:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\} \quad (5)$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\} \quad (6)$$

Элементами множества позиций P являются следующие события:

- $p_1$  – поступление заявки на загрузку транспортного средства,
- $p_2$  – решение выбрать грузоперевозчика на более выгодных условиях,
- $p_3$  – выбраны несколько грузоперевозчиков,
- $p_4$  – определены варианты обслуживания,
- $p_5$  – решение выбрать постоянного грузоперевозчика,
- $p_6$  – заявка принята к выполнению.

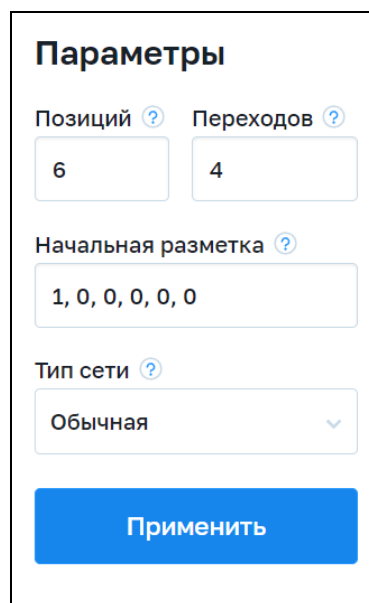
Элементами множества переходов T являются технологические операции:

- $t_1$  – проведение консультаций с постоянными грузовладельцами,

- $t_2$  – поиск вариантов грузоперевозчиков,
- $t_3$  – анализ вариантов,
- $t_4$  – согласование условий доставки и цены с перевозчиком.

### 3.2 Реализация сети Петри

Для реализации сетей Петри существует множество программ. Для простого построения сети можно использовать сайт <https://petri-nets.ru/>. Выбранные данные и схему связей в пункте 3.2 используем для построения функционирующей сети Петри. В параметрах выбираем количество позиций 6 и переходов 4, начальная разметка представляется в виде 1, 0, 0, 0, 0, 0, так как работа сети начинается с  $P_1$  (рис. 8). Начальная разметка отображает маркировку, отвечающую за срабатывание переходов.



**Параметры**

Позиций ?    Переходов ?

6    4

Начальная разметка ?

1, 0, 0, 0, 0, 0

Тип сети ?

Обычная

Применить

Рисунок 8 – Окно параметров на сайте

Далее нажимаем применить, и на экране отображаются позиции и переходы. В соответствии с построенной схемой связей в пункте 3.1 распределим детали сети в нужном порядке. Расставив элементы, отображаем связи между позициями и переходами во входной матрице ( $F_P$ ) и выходной матрице ( $F_T$ ). На рисунке 9 мы получили готовые матрицы.

Входная функция (матрица  $F_P$ )

$p_i / t_j$	t1	t2	t3	t4
p1	1	0	0	0
p2	0	1	0	0
p3	0	0	1	0
p4	0	0	0	1
p5	0	0	0	1
p6	0	0	0	0

Выходная функция (матрица  $F_T$ )

$t_j / p_i$	p1	p2	p3	p4	p5	p6
t1	0	1	0	0	1	0
t2	0	0	1	0	0	0
t3	0	0	0	1	0	0
t4	0	0	0	0	0	1

Рисунок 9 – Входная матрица ( $F_P$ ) и выходная матрица ( $F_T$ )

Проделав все эти действия, мы получаем модель транспортного обслуживания на основе сетей Петри. Работу модели можно отследить во вкладке «Симуляция работы сети» (рис. 10).

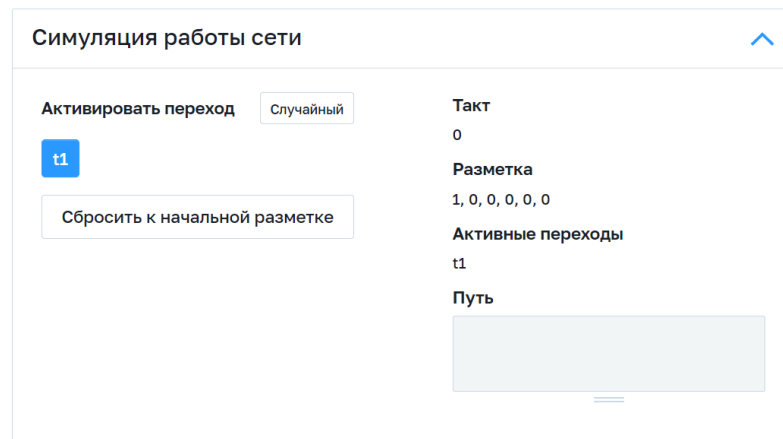


Рисунок 10 – Вкладка «Симуляция работы сети»

Выбирая переход, можно отследить передвижение маркировки по позициям. Пройдясь по всем переходам, мы получаем схему работы сети транспортного обслуживания (рис. 11):

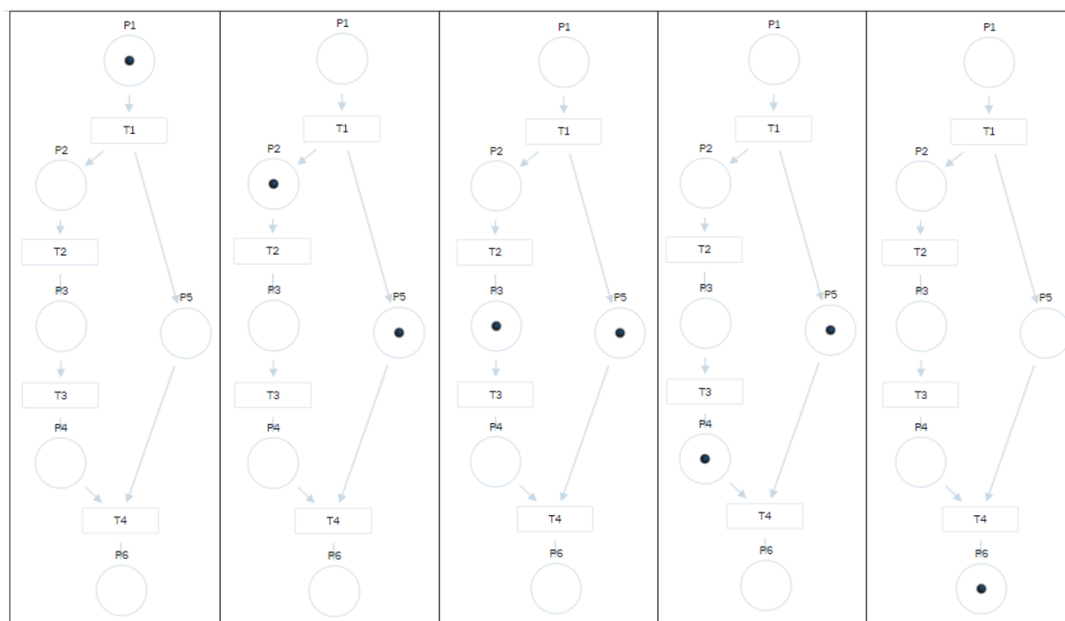


Рисунок 11 – Работа разработанной сети

Динамика функционирования поведения сети Петри может быть описана во вкладке «Дерево разметок» (рис. 12):



Рисунок 12 – Вкладка «Дерево разметок»

Разработанная модель дает возможность наглядно рассмотреть возможные варианты обработки заказа клиента. При анализе схемы можно определить вероятность отклонения заявки на техническом обслуживании, пути исхода события, длительность принятия и обработки заявки. Также, можно дополнять схему, рассматривая другие варианты исхода событий.

Исследование модели на основе сетей Петри показывает, что при разработке способов повышения эффективности технологического обслуживания применение данной методологии довольно ограничено. Тем не менее, использование сетей Петри для решения некоторых специфических задач остается целесообразным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания курсовой работы были рассмотрены теоретические понятия сетей Петри, включая основные понятия, структуру построения, принципы пользования их для управления системами и прогнозирования проблем.

Сети Петри являются одним из способов моделирования систем. С их помощью можно анализировать процессы, а после оптимизировать их. Также они остаются мощным инструментом для исследования и улучшения производственных, логистических и управленческих процессов на предприятии в современном бизнес-окружении.

В ходе курсовой работы была приведена общая характеристика предприятия ПАО «Норильский никель». Помимо этого была рассмотрена внутренняя и внешняя среда компании, а после проведен анализ.

На примере компании ПАО «Норильский никель» было рассмотрено применение моделей сетей Петри. Была составлена организационно-управленческая структура, функциональная структура предприятия, «дерево целей».

На основе анализа «дерева целей» были выявлены 3 основных цели предприятия: увеличение товарооборота, повышение квалификации специалистов и обеспечение конкурентоспособности. Затем были высчитаны коэффициенты относительной важности на основе оценки опрошенных экспертов, отражающие степень важности каждой подцели для достижения главной цели.

По подсчету коэффициента относительной важности было выявлено, что главной подцелью, ведущей к главной цели, является увеличение товарооборота, которое достигается за счет улучшения взаимодействия с клиентами. А после была построена модель транспортного обслуживания на основе сетей Петри, анализ которой ведет к достижению главной цели.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — 3-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 562 с. — URL: <https://urait.ru/book/teoriya-sistem-i-sistemnyy-analiz-535470> (дата обращения: 03.05.2024)
2. Клименко, И. С. Системный анализ в управлении: учебное пособие для вузов / Клименко И. С. — 2020. — 272 с.
3. Лапшина, М. Л. Системный анализ в автоматизации и управлении: учебное пособие / М. Л. Лапшина — 2023. — 100 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/386939> (дата обращения: 03.05.2024)
4. Лапшина, М. Л. Моделирование процессов и систем: учебное пособие / М. Л. Лапшина, Д. Д. Лапшин — 2023. — 59 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/386918> (дата обращения: 03.05.2024)
5. Семенов, А. Д. Моделирование систем управления / А. Д. Семенов, Н. К. Юрков — 2024. — 328 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/362336> (дата обращения: 08.05.2024)
6. Гончаренко, А. Н. Моделирование систем. Описание современных подходов к моделированию систем / А. Н. Гончаренко — 2020.
7. Авдошин, С.М. Дискретная математика. Алгоритмы: теория и практика / С.М. Авдошин, А.А. Набебин — Издательство "ДМК Пресс" — 2019. — 282 с.
8. Кулагин, В. П. Моделирование систем / Л. В. Бунина, А. П. Титов — 2022. — 156 с.
9. Песиков, Э. Б. Системный анализ и принятие решений / Э. Б. Песиков — 2021. — 89 с.
10. Оленев, В.Л. Сети Петри в моделировании и управлении / В.Л. Оленев — 2020. — URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_010532939/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010532939/) (дата обращения: 10.05.2024)



11. Антонов, А. В. Системный анализ / А.В. Антонов. - М.: Высшая школа, 2020. – 456 с.
12. Анфилатов, В. С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. – М.: Финансы и статистика, 2018. – 368 с.
13. Свешников, С. В. Основы системного анализа и управления организациями. Теория и практика / С.В. Свешников. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 212 с
14. Системный анализ в управлении научно-техническими комплексами. – М.: Атомиздат, 2019. – 710 с
15. Веретельникова, Е.Л. Теоретическая информатика. Теория сетей Петри и моделирование систем / Е.Л. Веретельникова – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 82 с.
16. Сочнев, А. Н. Постановка задачи оптимизации в терминологии сетей петри / А. Н. Сочнев – 2020. – URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2020-sochnev-1.pdf> (дата обращения: 10.05.2024)
17. Кирьянчиков, В.А. Анализ эффективности и надежности вычислительных систем на основе стохастических сетей Петри / В.А. Кирьянчиков – 2020.
18. Андрейчиков, А.В. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: Основы стратегического инновационного менеджмента и маркетинга / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. - М.: КД Либроком, 2018. - 248 с.
19. Дрогобыцкий, И.Н. Системный анализ в экономике: Учебник / И.Н. Дрогобыцкий. - М.: Юнити, 2018. - 784 с.
20. Методы и модели системного анализа. Оценка эффективности и инвестиционных проектов. Системная диагностика социально-экономических процессов. Том 61. Выпуск 3. – М.: ЛКИ, 2018. – 122 с.