

# Использование машинного обучения на этапах проведения функционально-стоимостного анализа

*А.Н. Зыков,  
инж., alexzikov@gmail.com,  
АО "ЦС "Звёздочка" г. Северодвинск,  
С.К. Карцов,  
д.т.н., проф., kartsov@yandex.ru,  
Московский Политех, г. Москва*

В настоящее время глобальная конкуренция между компаниями ведет к постоянной битве за достаточную долю рынка, и это достигается не только за счет снижения цен, но и путем постоянного внедрения инноваций на всех уровнях и во всех функциях компаний. Большим потенциалом в решении задачи повышения качества, конкурентоспособности продукции, резкого снижения издержек располагает функционально-стоимостный анализ (ФСА). Основываясь на выявлении всех функций исследуемого объекта и соотнесении их с его элементами, ФСА нацелен на минимизацию полной стоимости выполнения этих функций. Использование методов машинного обучения, позволит вывести проведение ФСА на новый уровень и будет способствовать поиску новых путей для снижения себестоимости товара и повышению его качества.

At present, global competition between companies leads to a constant battle for a sufficient market share, and this is achieved not only by lowering prices, but also by continuous innovation at all levels and in all functions of companies. Functional cost analysis (FSA) has a great potential in solving the problem of improving the quality and competitiveness of products, drastically reducing costs. Based on identifying all the functions of the object under study and relating them to its elements, the FSA aims to minimize the total cost of performing these functions. The use of machine learning methods will allow bringing out the FSA to a new level and will help to find new ways to reduce the cost of goods and improve its quality.

## Введение

Функционально-стоимостный анализ (ФСА) является одним из научных способов для помощи в принятии управленческих решений. ФСА включает в себя группу методов, направленных на постоянный поиск ненужных затрат при производстве продукта или оказании услуги и эффективное устранение этих затрат без ущерба для их качества и эффективности. Такими затратами являются те, которые входят в продукт или услугу, но они не нужны, они не улучшают их качество и эффективность, внешний вид, не продлевают срок службы и не обеспечивают дополнительного удовлетворения клиенту. Устраняя эти затраты; стоимость продукта или услуги может быть снижена, а качество продукта или оказания услуги повышено.

ФСА можно определить как постоянный анализ и оценку методов и функций в различных областях производства и оказания услуг, которые вызывают определённую озабоченность, что также служит для улучшения производительности и повышения ценности продукта или услуги.

При проведении ФСА стремятся достичь максимально возможного эффекта для снижения стоимости за счет непрерывного процесса планируемых действий, направленных на снижение издержек с точки зрения стоимости.

Объектами ФСА могут выступать [2]: организационные и управленческие процессы и структуры, качество продукции, конструкция изделия, технологический процесс.

Использование ФСА позволяет выполнить следующие виды работ:

- определить уровень эффективности выполнения различных производственных процессов на предприятии;
- обосновать выбор варианта для реализации производственных планов;
- провести анализ функций, выполняемых структурными подразделениями предприятия;
- обеспечить высокое качество продукции;
- проанализировать результаты деятельности предприятия.

Результатом проведения ФСА должно быть снижение затрат, достигаемое путем [1]

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышение качества при сохранении уровня затрат;
- сокращение затрат при сохранении уровня качества;
- сокращение затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором обоснованном повышении затрат.

Результаты ФСА используются на различных уровнях управления при производстве товара или оказания услуги в целях повышения их эффективности.

Первоначально группа методов ФСА, направленных на постоянный поиск ненужных затрат и изучение способов повышения эффективности, использовалась в основном в технической области, теперь она используется в различных областях, таких как маркетинг, покупка, финансирование и т. д.

## 1. Этапы проведения ФСА

Проведение ФСА позволяет получить оценку себестоимости через управление процессами, направленными на производство продукта или оказание услуги. ФСА, основываясь на выявлении всех функций исследуемого объекта и соотнесении их с его элементами, нацелен на минимизацию полной стоимости выполнения этих функций. Для этого необходимо знать функциональную структуру объекта, стоимость отдельных функций и их значимость. Эффективное проведение ФСА включает выполнение следующих основных этапов:

1. Планирование и подготовка: уточняется объект и цели ФСА.
2. Информационный: сбор сведений об объекте.
3. Аналитический: составление функциональной структуры, определение стоимости и ценности отдельных функций, выбор направления работы.
4. Творческий: улучшение решения на основе привлечения эвристических, математических и экспериментальных методов, выбор лучших вариантов.
5. Рекомендательный: оформление протоколов и рекомендаций по реализации предложений.

На первом этапе формируется группа специалистов данного предприятия и формулируется цель проведения ФСА. После выбора критериев и экспертной оценки происходит отбор объекта из определённой предметной области для проведения ФСА. Отбор объекта также диктуется возникновением проблемной ситуации.

Второй этап предполагает сбор, систематизацию и всестороннее изучение информации по исследуемому объекту. Собранная информация охватывает изучение количественных и качественных характеристик объекта исследования.

Третий этап служит для анализа функций объекта и затрат на их осуществление как по объекту в целом, так и по составляющим его элементам. Данный этап подразумевает: формулирование всех возможных функций объекта анализа и его составных частей, построение функциональной модели объекта, группировка функций на основные, вспомогательные, ненужные, оценка значимости функций, оценка затрат, связанных с осуществлением выявленных функций, сопоставление значимости функций и затрат на их реализацию, выделение функциональных зон.

Основное назначение данного этапа, определение наиболее важных задач по выдвигению идей и вариантов решений для совершенствования исследуемого объекта, исходя из его функций и затрат на их осуществление.

Поэтому работы на данном этапе проводятся в следующей последовательности:

- составляется структурная схема объекта ФСА;
- анализируются функции и строится функциональная структура объекта;
- производится оценка функций объекта и обосновывается очередность проведения ФСА;
- строится функционально-стоимостная диаграмма значимости функций объекта и затрат на их осуществление.

На четвертом этапе происходит разработка и поиск вариантов для улучшения объекта ФСА. Происходит обсуждение различных вариантов, выбор наиболее реальных и экономичных. Для этого уточняется направление для поиска новых решений, их анализ и систематизация, предварительный отбор для реализации. Основное назначение этого этапа состоит в нахождении оптимального решения путем комбинирования имеющихся знаний и опыта, выбор более рациональных решений. Это самый сложный этап проведения ФСА.

Заключительный этап заключается в разработке рекомендаций по совершенствованию объекта ФСА и принятию обоснованных решений по их реализации. Оформление рекомендаций к окончательному решению с технико-экономическими расчетами, составление и утверждение плана-графика внедрения рекомендаций. Представление полученных рекомендаций на обсуждение руководству предприятия.

Исходя из выше сказанного, для ФСА характерно последовательное, поэтапное выполнение работ, начиная с выбора объекта анализа и сбора имеющейся информации и заканчивая выработкой предложений по изменению исследуемого объекта, направленных на снижение затрат.

## **2. Информационная модель ФСА**

Процесс проведения ФСА это многократное получение информации об объектах, её обработка, анализ и принятие решений. Поэтому автоматизация путём использования информационных технологий для передачи обработки наиболее трудоёмких операций программным комплексам является необходимой задачей. Для решения задачи организации информационного обеспечения ФСА необходимо проанализировать с информационных позиций как сам процесс ФСА, так и объект, подвергаемый ФСА. Анализируя информационные характеристики этапов и процедур ФСА, информационные связи, которые возникают в ходе проведения ФСА, входные и выходные данные, структурно-логическую схему ФСА, получают информационную модель процесса ФСА.

Согласно информационной модели, процесс ФСА можно разбить не только на этапы и процедуры, но и на отдельные задачи, которые являются синтаксически завершёнными программами. В этом случае каждая процедура представляет собой комплекс реализующих её задач и методов и тогда основой построения информационной модели процесса ФСА могут служить информационные модели задач и методов, под которыми понимается упорядоченная совокупность аргументов.

Данная информационная модель процесса ФСА позволяет сделать оценку информационной сложности каждой процедуры и позволяет сформулировать основные требования к информационной модели объекта ФСА. Данные требования необходимы для создания информационной базы, минимальной по объёму и достаточной для обеспечения точности проведения ФСА.

Процесс построения информационной базы данных для ФСА можно представить в виде последовательности шагов, результатом которых должно быть формирование конечного набора данных для функционального описания объекта. Функциональное описание объекта, является необходимым требованием ФСА и даёт возможность перейти к количественному описанию формулировки функций и построению функциональной модели. Количественные показатели, которые вводятся при анализе функционального описания объекта, позволяют построить математические модели объектов. В процессе ФСА, используя информационную базу данных об этом объекте, формируют его информационную модель объекта.

Так как каждый объект обладает набором определенных свойств, то задача создания информационной модели объекта ФСА сводится к определению его структуры и состава. Объектами ФСА выступают изделия, составные части изделия, инструмент и технологическая оснастка, специализированное оборудование, технологические процессы, организация и управление производством.

Одним из основных этапов построения информационной модели ФСА является формирование структурных моделей. Построение данной модели производится путем выборки и обработки из информационной базы данных. В модель заносится информация по объекту анализа, например, наименование, номер чертежа, единицы измерения, показатель качества и так же информация по его составным частям и если необходимо по составным частям на следующих вложенных уровнях. Степень декомпозиции определяется степенью сложностью и целями анализа.

Строится структурная схема объекта анализа в виде дерева. Данная структурная модель является основой для последующих процедур анализа. На ее основе строится структурно-стоимостная и функциональная модели.

Построение функциональной модели на уровне логического представления помогает понять сущность решаемой задачи. Функциональная модель показывает функции и средства их реализации. Функции описываются в виде последовательных действий, взаимосвязи этих действий. Процесс описания функций происходит до элементарных действий (элементарный функции) и только после этого можно начинать строить математические модели по функциям и объекту в целом.

Каждая элементарная функция определяется тремя компонентами: «вход», «действие», «выход». Это можно интерпретировать следующим образом, «что» преобразуется, «как», «во что». Под элементарной функцией понимается «описание того, какая физическая величина, благодаря какому процессу (действию), в какую другую физическую величину должна быть преобразована» [3].

При формировании структурной, структурно-стоимостной, а также функционально модели необходимо обеспечить занесение новой информации. Такой подход ведет к пополнению информационной базы на каждом предприятии информацией по объектам, которая характерна для данного предприятия. Сведение в единое целое информации по нескольким предприятиям может служить для разработки более масштабных классификаторов перечня функций объектов. Сформированная таким образом информационная база содержит помимо формулировок, стоимостную информацию, пригодную для предварительного расчета экономической эффективности предлагаемого решения.

Следующим шагом будет совмещение полученной функциональной и структурной моделей объекта с целью их согласованности и поиска различий. Сравнивается степень декомпозиции данных моделей и в случае несовпадения может быть произведено усечение или наоборот проведена дальнейшая декомпозиция. После проверки на согласованность, происходит разработка программы стоимостного моделирования, предназначенной для автоматического выбора информации и вычисления затрат на реализацию элементов объекта. Для этого могут использоваться программы экспертной оценки.

### 3. Моделирование алгоритма

Из числа методов поиска технических идей и решений, которые часто применяются на творческом этапе ФСА, является морфологический анализ. Морфологический анализ предусматривает определение критериев, по которым возможна оценка потенциальных решений. Для этого выбирается список критериев, по которым будет проводиться экспертная оценка значимости признаков объекта, которые положена в основу морфологического словаря. Также рассматриваются альтернативные варианты реализации каждого признака. После оценки следует расчет приоритетов всех содержащихся в морфологическом словаре вариантов, отдельно по каждому из критериев. С этой точки зрения словарь раскрывает семантическое содержание формулировок функций и должен обеспечивать, по возможности, поиск функций анализируемого изделия

Каждая формулировка в функциональной модели должна иметь описание одной функции. Это упрощает поиск и анализ данной функции. Программа поиска должна сравнивать формулировки функций, значительно отличающие друг от друга по форме, но имеющие одинаковый или сходный смысл.

Формулировка функции на первом месте обычно содержит глагол, который определяет действие. Например, «удержать прокладку», «закрепить шланг». Возможно содержание базы аналогов слов, имеющих одинаковое толкования. Например, «преобразовать» и «превращать», «крепить» и «фиксировать». Также возможно содержание в базе данных стандартных формулировок функций, со ссылками на аналоги, что позволит в дальнейшем создавать семантические описания, соответствующие стандартным формулировкам. Это позволит автоматизировать построение моделей объектов на основе их функциональных моделей [3].

Для поиска вариантов реализации каждого признака при проведении ФСА возможно использование машинного обучения. Использование базы данных формулировок функций, дает возможность построения алгоритма машинного обучения для помощи в проведении ФСА объекта.

На первом этапе формулировки функций подвергаются графематическому анализу, согласно которому происходит выделение слов в предложении. На следующем этапе происходит обнаружение составных слов, которые должны рассматриваться как одно (с точки зрения морфологического анализатора). Графематический анализ обычно не требует настройки, которая зависит от предметной области, поскольку реализация общего алгоритма графематического анализа подходит для большинства реальных приложений.

Далее происходит морфологический анализ, который обычно работает на уровне отдельных слов и возвращает морфологические атрибуты данного слова. Для проведения морфологического анализа есть множество высококачественных словарных и бессловарных решений этой задачи.

Результаты морфологического анализа используются при синтаксическом анализе. Синтаксический анализ осуществляет построение ограниченного набора синтаксических связей, выделяет в предложении крупные синтаксические единицы - фрагменты и устанавливает иерархию на множестве этих фрагментов.

После этого происходит выделение семантических классов (составных типов). При выделении составных типов осуществляется пометка фрагментов текста, которые позже рассматриваются как единое целое, например, даты, имена, должности. Выделение семантических классов осуществляется на основе тезаурусов или правил, подобных правилам извлечения информации.

Затем осуществляется применение правил извлечения информации к тексту. При выполнении условий и ограничений, описанных в правилах, выполняется функциональная часть правил. Функциональная часть позволяет строить целевые структуры данных или сохранять дополнительную информацию, которая будет использована на последующих этапах.

Например, формулировка каждой функции разбивается на одиночные слова, для поиска и построения выражений, близких по смыслу этой формулировке функции. Формулировка функции «поглощать свет» равнозначна по смыслу формулировке «не пропускать свет». Построение множества формулировок одних и тех же функций возможно с помощью семантического моделирования с помощью машинного обучения. Так формулировка «передать электрический ток на лампу» приведет к построению структуры следующего вида [1]:

перед[ать]

передав[ать]			
подве[сти]			
подвод[ить]		Ток	[к] ламп[е]
пода[ть]	электричес[кий]	потенц[иал]	[на] ламп[у]
подав[ать]		заря[д]	[в] ламп[у]
созд[ать]			
прове[сти]			

Эта структура даёт 72 формулировки близкие по смыслу. С учетом всех сокращений подразумевается еще большее число формулировок функций. После построения данных структур функций, если хоть один вариант одной функции совпадает с вариантом другой, то исходные формулировки этих функций являются аналогичными. Например, такие формулировки как «передать электрический ток к лампе» и «создать электрический потенциал в лампе» являются аналогичными. После этого, так как структурная или структурно-стоимостная модель объекта совмещена с функциональной, можно выбрать те функции с аналогичными формулировками, у которых стоимость выполнения ниже, чем у остальных.

Для проведения всех этих операций есть возможность в использовании методов машинного обучения. Машинное обучение включает множество различных подходов и алгоритмов. Смысл машинного обучения состоит в использовании выбранных признаков для построения моделей, подходящих для решения поставленных задач. Для построения модели, в качестве основного алгоритма можно выбрать несколько подходов и использовать различные алгоритмы машинного обучения. Выбор алгоритма исходит не с точки зрения быстродействия или потребления памяти, а правильности получения конечного результата.

Как описано выше, построение алгоритма для анализа формулировок функций сводится к нескольким этапам. Разбиение формулировок на отдельные графемы и выделение морфологической структуры этих графем происходит с использованием словарных или бессловарных методов простыми вычислительными алгоритмами. Для проведения синтаксического и семантического анализа использование методов машинного обучения может обеспечить более точную и быструю обработку массивов данных при проведении ФСА. Синтаксический анализатор создает группы слов с одинаковым синтаксическим значением. Затем строится семантическое дерево, в котором группы слов относятся к одному из узлов. Узлы дерева относятся ко множеству различных типов отношений. Для поиска аналогичных формулировок используются различные типы отношений между словами. Простая структура данных отношений позволяет сократить временные издержки.

Для решения этой задачи машинного обучения, основанной на построении и анализе семантико-синтаксического дерева, подходит такие методы, как метод деревьев признаков, метод  $k$  - ближайших соседей ( $kNN$ ) и нейронные сети [4]. Для решения данной задачи выбор нейронных сетей является одним из наиболее подходящих.

В этом случае поставленная задача может быть рассмотрена как задача классификации точек в  $n$ -мерном пространстве, при которой можно использовать метод обучение нейронной сети с учителем. С учётом специфики предметной области и анализа достоинств и недостатков известных нейронных сетей, можно выбрать следующие типы – многослойный персептрон и LSTM-сеть. В качестве входных данных сети, например, можно использовать набор параметров, полученный для соответствующей пары исследуемых слов в предложении и представленный в виде вектора действительных чисел. Выходные данные - числовой вектор «01» или «10», являющееся ответом на вопрос: «Найдено ли искомое отношение в тексте?» («01» – не найдено, «10» – найдено).

Для определения семантического смысла анализируемой пары слов будем каждое из них сопоставлять с каким-либо семантическим классом. Считается, что два слова принадлежат к одному семантическому классу, если они имеют одинаковый смысл в заданном контексте. Соответствия слов семантическим классам и определённому контексту определяются по начальной форме слов и хранятся в базе данных. Начальная форма слова и его морфологические характеристики вычисляются на этапе морфологического анализа. Для каждого из типов отношений используется собственный анализатор на основе нейронной сети. Данный анализатор имеет доступ к модулю морфологического анализа, чтобы выделять необходимые параметры, например согласование слов по форме. Информация, содержащая начальную форму слова, его морфологические характеристики и принадлежность к семантическим классам в определённом контексте хранится в базе данных.

## Заключение

Стоит признать, что машинное обучение, конечно, не может полностью заменить участие оператора при проведении ФСА. Часть работы все равно остается за оператором. Он должен вручную анализировать некоторое множество данных, в виду того, что анализ данных, даёт лишь предположительное указание о возможном результате, но не дают сильного сигнала, который позволил бы с уверенностью это предположить и автоматически провести всю работу. Работа оператора также позволяет более точно настроить алгоритм работы модели и тем самым провести более точное обобщение его работы на предложенных данных. Стоит сказать, что данная задача очень важна и актуальна в настоящее время, для улучшения характеристик выпускаемого товара или оказываемых услуг и повышение точности работы построенной модели является очевидным фактом для продолжения работы в данном направлении.

## Литература

1. Ковалев А.П., Моисеева Н.К., Сысун В.В., Карпунин М.Г., Майданчик Б.И., Справочник по функционально-стоимостному анализу / М. Финансы и статистика, 1988, 431 стр.
2. Моисеева Н.К., Карпунин М.Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / М. Высшая школа, 1988
3. Моисеева Н.К., Функционально-стоимостный анализ в машиностроении / М. Машиностроение, 1987
4. Флах П., Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / Москва, ДМК Пресс, 2015