

УДК 338.012

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
И ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ<sup>1</sup>**

© 2014 г. О. Ю. Белый

*Южно-Российский государственный политехнический университет  
(Новочеркасский политехнический институт)*

*В статье отражены особенности применения функционально-стоимостного анализа в процессах анализа и проектирования электротехнического оборудования и элементов энергетических систем. В зависимости от отрасли применения ФСА отличаются особенности функциональной нагрузки проектируемых устройств. Для повышения эффективности работы всего метода предлагается провести адаптацию этапа формирования функциональной модели для электротехнической и энергетической отраслей.*

*Результатом работы является составленная карта базовых типовых элементов и описание к ней, которое позволит упростить процесс формирования функциональной карты энергетической системы при проведении функционально-стоимостного анализа энергетических систем и их элементов, и позволит повысить эффективность проводимого анализа.*

*Ключевые слова: энергетика; технико-экономический анализ; функционально-стоимостный анализ; энергетическая система; техническая система; теория решения изобретательских задач.*

*The article describes some features of using the value analysis for the processes of analysis and design of the electrical equipment and power systems' components. In the different branches of industry the use of the value analysis differs from one to another functional load of the designed devices. To improve the efficiency level of the whole method it's proposed to adapt the stage of a functional model's formation for the power and electrical engineering branches of industry.*

*The result of the work is presented as a composed base map of standard elements and a description, which is to facilitate the formation of the energy systems' functional maps for the development of the value analysis of power systems and their components, and should increase the efficiency of the analysis.*

*Key words: energy; technical and economic analysis; value analysis; energy system; technical system; Theory of Inventive Problem Solving.*

Функционально-стоимостный анализ является известным и эффективным методом для проведения технико-экономического анализа [1]. Универсальность его идеологии позволяет его использовать в различных областях хозяйственной деятельности. Основ-

<sup>1</sup> Доклад на XXXVI сессии Всероссийского научного семинара «Кибернетика энергетических систем» (секция «Экономические проблемы развития и функционирования энергетических систем»), Новочеркасск, 24–26 сентября 2014 г.

ным отличием при применении его в различных областях является различная функциональная нагрузка исследуемых объектов [2]. Это накладывает определенную сложность при выполнении этапа составления функциональной модели исследуемого объекта. От эффективности проведения данного этапа напрямую зависит результат проведения анализа в целом. Поэтому в рамках данной статьи речь пойдет об особенностях формирования функциональной карты при проектировании электротехнического оборудования и элементов энергетических систем.

Особенностью данного метода является то, что в ФСА используется так называемый функциональный подход, в то время, как традиционные методы анализа руководствуются предметным подходом [3]. В ФСА объект получает функциональное описание, и технические решения выбираются с позиции обеспечить выполнение функций дешево и качественно. Отправная идея ФСА состоит в том, что для потребителя ценным является не изделие само по себе, а те полезные функции, которые оно может выполнять. Принципы и общая организационная процедура ФСА остаются едиными независимо от названных областей его применения.

Особенно распространен ФСА в машиностроении, но универсальность подхода данного метода позволяет его применять и в других отраслях. В частности, в данной статье речь пойдет о применении ФСА для анализа энергетических систем. По сути своей, энергетическая система — это техническая система, которая предназначена для получения и транспортировки энергии, пригодной в дальнейшем для ее потребления различными энергопотребителями.

В рамках проведения ФСА подразумевается этап функционального разбиения исследуемого объекта. Данный этап является творческим и имеет свои особенности в зависимости от рода исследуемого объекта. Повышением упрощения и эффективности проведения данного этапа является составление типовой функциональной карты исследуемого объекта.

Рассмотрим более детально вопрос составления типовой функциональной карты для энергетической системы.

Поскольку энергетическая система яв-

ляется одной из разновидностей технических систем [4], то для составления типовой функциональной карты следует обратиться к закону полноты частей системы [5], который гласит: «Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является минимальная работоспособность основных частей системы. Каждая ТС должна включать 4 основные части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган и орган управления. При этом, если в технической системе отсутствуют какие-то элементы, то они обязательно должны присутствовать в надсистеме».

С точки зрения закона полноты частей системы в рамках экономической надсистемы энергетическая система выполняет роль «двигателя» и «трансмиссии». При декомпозиции самой энергетической системы она также поддается принципу разбиения по вышеупомянутому закону.

Обратим внимание на специфичность терминологии, данные узлы больше подходят исключительно для механических объектов. К примеру, двигатель — это устройство, преобразующее какой-либо вид энергии в механическую. Или, трансмиссия (от лат. *transmissio* — передача, переход) — устройство для передачи механической энергии от двигателя к исполнительным органам машины либо к другим рабочим машинам (станкам, мельницам и т. п.).

Если абстрагироваться от тонкостей терминологии механических устройств и взглянуть в общий смысл, вкладываемый автором теории, то получается следующая картина: если устройство выполняет, какую-либо функцию, на выполнение которой необходимо затратить энергию, то в первую очередь ей нужно эту энергию взять извне, соответственно устройство или надсистема должны содержать элемент, который будет снабжать его энергией. Далее должен быть элемент, который непосредственно выполняет эту главную функцию, для которой он спроектирован. Но также следует учесть, что энергия внутри устройства должна быть транспортирована и преобразована в подходящие для узлов параметры. И должен существовать элемент, который будет управлять потоком энергии и устройством. Современные ТС зачастую не ограничиваются, каким-либо органом

управления, с помощью которого человек использует устройство, а зачастую это автоматизированные или автоматические системы управления, которые берут на себя множество низкоуровневых рутинных операций и создают удобный интерфейс для пользователя. Поэтому наиболее подходящим термином, отвечающим современной действительности является: элемент обработки информации и управления.

Таким образом, обобщая, и переводя элементы ТС, описываемые в ТРИЗ, на классификацию функций для ФСА получаем:

1) Двигатель = энергоснабжающий элемент > снабжает устройство энергией;

2) Трансмиссия = энергопреобразующий и элемент > преобразует энергию внутри устройства;

3) Рабочий орган = элемент исполняющий основную функцию > выполняет основную функцию предназначения устройства;

4) Орган управления = элемент обработки информации и управления > обрабатывает информацию, организует управление устройства и связь с другими устройствами и человеком.

Из данных выводов следует формулировка базовых функциональных блоков по закону полноты частей системы:

1) энергоснабжающий элемент;

2) энергопреобразующий элемент;

3) элемент исполняющий основную функцию;

4) элемент обработки информации и управления.

Но перед составлением типовой карты для начала обратимся к сущности производства и вообще всякого рода деятельности [6]. Исходя из вышеприведенных формулировок, всякую деятельность с физической точки зрения можно охарактеризовать как преобразование энергии из одной формы в другую. А энергию можно охарактеризовать как количественную способность к изменению. Поэтому если взглянуть более абстрактно, то всякую функцию можно охарактеризовать, как «энергопреобразующая», и с точки зрения неживой природы функционально все устройства одинаковы, но с точки зрения человека различные устройства, преобразуя энергию, создают определенный результат, который человек воспринимает как определенное благо.

Даже всякая техническая система, которая занимается обработкой информации, по сути своей, занимается энергопреобразованием. Зачастую в виде изменения электрических потенциалов, которые провоцируют сложные цепные реакции. И для большего удобства их анализа человеку проще оперировать не абсолютными значениями на том или ином узле схемы, а более рафинированной абстракцией, как «информация», в котором каждый диапазон напряжений соответствует дискретным логическим состояниям.

Из вышеописанного, повторно, отметим, что для повышения эффективности проведения функционально-стоимостного анализа важно наличие типовых функциональных карт для конкретных типов изделий, но данные функциональные карты не следует считать неизменной догмой, поскольку исследователю может оказаться более удобным и эффективным придать какому-либо элементу иной функциональный окрас.

Следует важный вывод: исследователь той или иной системы вправе формировать и охарактеризовывать функции таким образом, как ему посчитается наиболее удобным, используя за основу типовую функциональную карту.

Основываясь на вышеприведенных методиках и доводах, постараемся сформулировать картину типовых функциональных элементов для энергетической системы.

Генерирующий элемент — это элемент, преобразующий первичную энергию (энергия, которая в рамках данной системы или подсистемы условно принята, как первичная), подводимую к системе, в другой вид энергии, который в дальнейшем целесообразно транспортировать и/или преобразовывать в полезный результат.

Преобразующий — это элемент, который занимается вторичным преобразованием энергии внутри системы или подсистемы. Необходимость в нем может присутствовать, если мы хотим обеспечить возможность работы и/или повысить качество и/или надежность работы следующих элементов: транспортирующего, исполняющего, управляющего, аккумулирующего. По возможности, если данный элемент не приносит улучшения большего, чем затраты на его создание и обслуживание, то от него необходимо избавляться.

Транспортирующий — это элемент, который осуществляет транспортировку энергии и/или материи в пространстве. Соответственно данный элемент несет вторичную функциональную нагрузку, и его целесообразность использования может обосновываться повышением надежности удешевлением создания и/или эксплуатации элементов на которые оно влияет, по сравнению с потерями транспортного плеча. И всегда по возможности потери транспортного плеча нужно минимизировать или отказываться от данного элемента.

Исполняющий элемент — это элемент, в котором происходит превращение входящей в него энергии и/или материи в полезный результат. Напрямую от него зависит эффективность системы. Он несет первичную функциональную нагрузку.

Управляющий элемент — элемент, который посредством малых потоков энергии и/или материи управляет большими потоками. При этом рациональность его использования и усложнения обуславливается улучшением рациональности потоков энергии и/или материи и/или повышения надежности системы, и/или повышением качества полезного результата.

Аккумулирующий элемент — это элемент, который сохраняет во времени и пространстве материю и/или энергию с наименьшими потерями. Данный элемент несет вторичную функциональную нагрузку. Его рациональность применения может быть обоснована:

- повышением надежности системы;
- создание возможности временной автономности;
- уменьшением потерь сгенерированной, но непотребленной энергии.

Вышеприведенные типовые элементы энергосистемы, в свою очередь, при анализе их каждого по отдельности имеют свою функциональную структуру. При анализе их может оказаться удобным разбивать, основываясь на законе полноты частей системы.

Но у элемента каждого типа могут возникать свои особенности. Рассмотрим генерирующий элемент. При его разбиении исследователю, составляя его функциональную карту, может решить, что некоторые типовые элементы, описанные в законе полноты частей системы, следует вынести за пределы ге-

нерирующего элемента, к примеру, элемент, исполняющий основное предназначение.

Такие же особенности могут встречаться и при анализе таких элементов энергосистемы, как: энергопреобразующий, транспортирующий и аккумулирующий.

Отдельное внимание следует обратить на управляющий элемент, поскольку в рамках энергетической системы это не просто какой-либо элемент, который управляет всей системой, а большая совокупность взаимоувязанных элементов.

Из этой совокупности функционально выделяются следующие элементы:

Элемент получения информации — это устройство, которое осуществляет измерение показателей энергетической системы, а также связанные с ней показатели, необходимых для определения ее состояния и управления ею.

Элемент обработки информации — это устройство, которое занимается обработкой полученной информации о состоянии энергетической системы, и определяет необходимое воздействие на систему, для достижения поставленных перед ней критериев эффективности.

Элемент воздействия — это элемент, который воздействует на энергетическую систему, с помощью инструкций полученных от элемента обработки информации.

Элемент аварийного реагирования — это обособленный элемент, который необходим для воздействия на систему в аварийных ситуациях. Соответственно, для быстроты реагирования, он должен содержать в себе все три вышеприведенных элемента.

Также следует отметить, что в зависимости от особенностей эксплуатации и конструкторских решений данные элементы могут быть выполнены как дискретно, так и в составе каких-либо других устройств. Также следует отметить, что элементы получения информации и воздействия не следует воспринимать слишком узко, поскольку они могут не ограничиваться только лишь вольтметрами, амперметрами и т. д.

Ведь, если речь идет об использовании альтернативных источников энергии, то для повышения эффективности работы энергетической системы могут применяться устройства для получения метеоданных, или же,



**Рис. 1.** Карта типовых базовых элементов для энергосистемы с приведением различных уровней разбиения

если необходимо, речь идет о повышении прогнозирования энергопотребления, то могут применяться различные устройства, для определения местонахождения людей или каких-либо технических устройств. Также к способам воздействия могут причисляться способы информирования и психологического воздействия на людей для управления потреблением. Из всего вышеприведенного вытекает типовая функциональная карта для

энергетической системы и ее элементов, приведенная на рис. 1.

Как итог, следует отметить, что приведенная карта базовых типовых элементов и описание к ней позволит упростить процесс формирования функциональной карты энергетической системы, при проведении функционально-стоимостного анализа энергетических систем и их элементов, и позволит повысить эффективность проводимого анализа.

### Литература

1. Кац Г. Б., Ковалев А. П. Технико-экономический анализ и оптимизация конструкций машин. — М.: Машиностроение, 1981. — 214 с.

2. Функционально-стоимостный анализ: концепции и перспективы [Электронный ресурс] / Quality.eur.ru: Сайт о менеджменте качества. — Режим доступа: <http://quality.eur.ru/MATERIALY/fsa2.htm>, свободный (21.02.2014). — Загл. с экрана.

3. Непомнящий Е. Г. Экономика и управление предприятием: конспект лекций. — Та-

ганрог: Изд-во ТРТУ, 1997.

4. ГОСТ Р ИСО 13600–2011 «Системы технические энергетические. Основные положения».

5. Петров В. Алгоритм решения изобретательских задач. Учебное пособие. — Тель-Авив, 1999.

6. Производство [Электронный ресурс] / Википедия — свободная энциклопедия. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%F0%E8%E7%E2%E4%F1%F2%E2>, свободный (21.02.2014). — Загл. с экрана.

Поступила в редакцию

14 октября 2014 г.



**Олег Юрьевич Белый** — инженер по специальности «Управление и информатика в технических системах», магистр по специальности «Инноватика», аспирант ЮРГПУ (НПИ) факультета Инноватики и организации производства по специальности «Экономика и управление народным хозяйством». Начальник сектора разработки испытательного оборудования и измерительных приборов ООО «Авиаагрегат-Н».

**Oleg Yurievich Belyi** — engineer, special subject «Management and Informatics for the Technical Systems», master of special subject «Innovation Management», postgraduate at SRSPU (NPI) of the Innovations and the Organization of the Production faculty, of special subject «Economics and Management of the National Economy». Head of The Test Equipment and Measuring Instruments Development sector of Aviaagregat-N Ltd.

353411, г. Анапа, пос. Су-Псех, ул. Тупик Северный, д. 7  
7 Tupik Severniy st., 353411, Su-Psekh, Anapa, Krasnodarskiy kr., Russia  
Тел.: +7 (918) 53-77-539; e-mail: olegbelyi@yandex.ru