

УДК 629.114.2.001

**МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА
И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
МОБИЛЬНЫХ МАШИН**

Бойков Владимир Петрович, Boykov Vladimir Petrovich –
заведующий кафедрой «Тракторы» Белорусского национального
технического университета, доктор технических наук, профессор.

Гуськов Валерий Владимирович, Gus'kov Valeriy Vladimirovich –
доктор технических наук, профессор кафедры «Тракторы»
Белорусского национального технического университета.

Гринцевич Любовь Владимировна, Grintsevich Lyubov Vladimirovna
– кандидат экономических наук, заведующая кафедрой «Экономика
и управление инновационными проектами в промышленности»
Белорусского национального технического университета.

Павлова Вероника Владимировна, Pavlova Veronika Vladimirovna –
кандидат экономических наук, доцент кафедры «Оценочная
деятельность на транспорте и в промышленности» Белорусского
национального технического университета.

Зезетко Николай Иванович, Zezetko Nikolay Ivanovich – первый
заместитель генерального конструктора ОАО "МТЗ" - главный
конструктор тракторной техники, кандидат технических наук.

Близнюк Ольга Сергеевна, Bliznyuk Olga Sergeevna – преподаватель
кафедры «Инновационный менеджмент» Белорусского
государственного университета.

г. Минск, Беларусь

Minsk, Belarus

В статье рассматриваются вопросы применения метода функционально-стоимостного анализа (ФСА) при проектировании многоцелевых колесных и гусеничных машин. Под ФСА понимается метод системного исследования функций объекта, направленный на минимизацию затрат в сферах проектирования, производства и эксплуатации при сохранении или повышении качества и технического уровня изделий. Приводится понятие и классификация функций машин, область их применения. В статье рассмотрены возможности применения ФСА в структуре отдельных предприятий машиностроительного комплекса Республики Беларусь.

This article discusses the application of the method of functional-cost analysis (FCA) when the multi-purpose wheeled and tracked vehicles are designing. FCA means the method of a system research of functions of an object, aimed at minimizing the costs of design areas, production and operations while maintaining or improving products quality and their technical level. The article contains the concept and classification of functions of cars, area of their application. The article is also has examples of possible applications of FCA in the field of machine-building enterprises of the Republic of Belarus.

ВВЕДЕНИЕ

Политика открытости экономики Республики Беларусь привела к ужесточению конкуренции среди производителей продукции, притоку производителей из стран ближнего и дальнего зарубежья, снижению объемов государственных заказов. Поэтому для успешного развития экономики республики необходимо активно осваивать внешние рынки, так как внутренний уже недостаточен для эффективного производства и освоения инновационной продукции. Насущными проблемами белорусских предприятий, требующими незамедлительного решения, являются: необходимость активного поиска покупателей, освоение в производстве новых и высоких технологий, повышение качества продукции и снижения издержек на ее производство, поддержание прежних и налаживание новых хозяйственных связей.

Одним из путей решения указанных проблем может служить реализация эффективных методов технико-экономического обоснования проектируемой мобильной машины. В настоящее время одним из таких прогрессивных методов является функционально-стоимостной анализ (ФСА), который широко применяется в этих целях на предприятиях Западной Европы, Северной Америки, Китая.

*Функционально-стоимостный анализ – это метод системного технико-экономического инженерного анализа, направленный на **повышение** (сохранение) **функциональной полезности объекта**, **повышение его технического уровня** при **минимизации затрат** на создание и эксплуатацию.*

Предметом ФСА является функция проектируемого объекта.

ФСА представляет собой универсальный высокоэффективный **метод оптимизации параметров** и других конструктивных, технологических, организационных, эстетических, экономических **характеристик изделия** по принятому критерию (критериям). В качестве **основного критерия** выступает определяемое специальным образом **соотношение потребительских свойств на единицу затрат**.

При проведении ФСА активно используются различные эвристические методы и методы активизации творчества. Этот метод нашел наиболее широкое распространение в США [1], других передовых промышленных странах, активно развивающихся индустриальных странах, таких как Китай, Южная Корея, в областях военного и гражданского строительства, электронной, авиационной, машиностроительной и прочих отраслях промышленного производства. Его применение приносит значительный экономический эффект за счет оптимизации конструкции изделий и процессов, снижения затрат на создание, внедрение и непосредственно производство товаров, что, в свою очередь, способствует повышению их конкурентоспособности.

Можно отметить два принципиально отличных друг от друга подхода к поиску решений, связанных с конструированием изделий. Первый подход – **предметный**, основан на поиске решений поставленной задачи, сводится в основном к синтезу и компоновке изделия или процесса из заданного набора элементов (предметов). Второй – **функциональный**, предполагающий рассмотрение каждого объекта и его составляющих как вариант реализации (или намечаемого к реализации) комплекса функций, необходимых потребителю, и нахождение на этой основе наиболее эффективных путей осуществления этих функций;

При проведении ФСА понятие «функция» трактуется следующим образом – это назначение или способность объекта к определенному действию, воздействию, реализации конкретного технологического процесса, удовлетворению потребности.

Практичность и большую значимость функционального подхода можно понять из следующего рассуждения: «любое изделие изготавливается для того, чтобы выполнять возложенную на него функцию» [2].

Такая задача сводится к ликвидации на основе проведенного анализа функций излишних или вредных элементов и затрат при сохранении (повышении) качества.

Потребитель фактически стремится приобрести не изделия в прямом смысле, а функции, выполняемые этим изделием. Изделие является лишь носителем функций.

Например, покупая легковую автомашину, мы не анализируем структуру применяемых материалов, их массу и варианты технологии ее производства, а оцениваем функцию комфортного управления, скоростного режима, надежности, престижности, эстетических качеств, стоимости и т.д.

Такая, отличающаяся от традиционной, постановка вопроса изменяет сложившийся стереотип мышления и позволяет добиться такого экономического эффекта, которого не удаётся добиться другими методами.

Особенность функционально-стоимостного анализа состоит в том, что объектом исследования и изучения являются функции товара, услуги, процесса и их составляющих. Его главное достоинство заключается в том, что он позволяет не только составить истинное представление о предмете исследования, его функциях, потребительских свойствах, увидеть действительные причины неудовлетворительного качества и неоправданных затрат, но и предложить конкретные, многовариантные пути достижения оптимального соотношения между качеством и затратами на функционирование исследуемого объекта.

Оптимизация осуществляется путем применения системных исследований функций объектов, направленных на принципиальное изменение конструкции объекта, и изыскания новых способов выполнения функций.

Применение ФСА отражает наметившуюся тенденцию постепенного перехода от проектирования материальной структуры объекта к первоначальному проектированию его функциональной структуры, представляющему собой принципиальное изменение в теории и практике проектирования.

Процесс исследования при выполнении ФСА состоит из нескольких этапов, представленных на рисунке 1 и 2.

На рисунке 3 представлена классификация функций изделия, позволяющая составить представление об основных принципах метода ФСА.

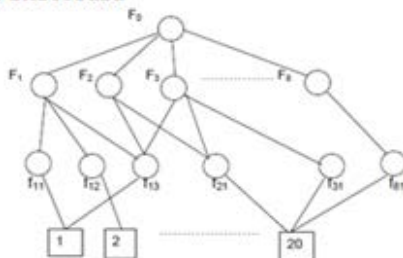
Этапы ФСА



Рисунок 1 - Последовательность выполнения этапов ФСА

Этапы ФСА

Помимо матриц взаимосвязи можно использовать модель функций в виде графа



F0 – главная функция; F1 – F8 – основные функции; f11 - f81 – вспомогательные функции; номера в квадратах означают функциональные блоки (элементы конструкции).

Рядом с функциями можно проставлять значимости в % и другую информацию.

Рисунок 2 - Иерархия функций в этапах ФСА

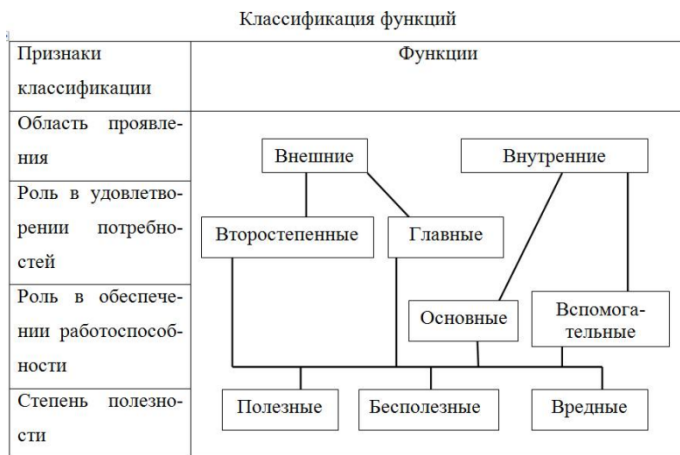


Рис. 3 Классификация функций изделия.

По области применения функции можно разделить на внешние и внутренние. Внешние функции выполняются объектом в целом и отражают функциональные отношения между объектом и внешней средой, с которой он взаимодействует. Внутренние функции определяются взаимодействием внутри объекта и выполняются его элементами.

Среди внешних функций в зависимости от их роли в удовлетворении потребностей следует различать главные и второстепенные. Главная функция объекта определяет его назначение. Второстепенные функции не влияют на его работоспособность, они отражают побочные цели создания объекта, обеспечивают и увеличивают спрос на него (например, удобство использования, эстетичность).

Среди внутренних функций следует различать основные и вспомогательные. Основная функция обеспечивает работоспособность объекта и создает необходимые условия для осуществления главной функции. Различают основные функции приема, ввода (энергии, информации), передачи, преобразования, регулирования, хранения, выдачи результата. Вспомогательные функции способствуют реализации основных. Существует несколько разновидностей вспомогательных функций:

соединительные, изолирующие, фиксирующие, направляющие, крепежные и т.д.

В зависимости от содержания можно выделить следующие внешние функции: потребительски-эксплуатационные, эстетические, эргономические, экологические, а среди внутренних – конструктивные и технологические.

По характеру проявления различают функции номинальные (целевые), обеспечивающие необходимую полезность объекта в соответствии с заданными требованиями, действительные, реально существующие в изделии, потенциальные (до определенного времени не проявляющиеся), способствующие расширению сферы применения объекта (например, возможность навески на базовую машину различного рабочего оборудования).

По степени полезности различают: полезные функции – внешние и внутренние, отражающие функционально необходимые потребительские свойства и определяющие работоспособность объекта; бесполезные функции, нейтральные и вредные. Нейтральные функции – это функции излишние, не снижающие работоспособность объекта, но создающие избыточность и удорожающие объект. Вредные – это функции, отрицательно влияющие на работоспособность объекта и его потребительскую стоимость, удорожающие объект. К вредным можно отнести такие функции как создание паразитарных потоков мощности или энергии в приводе, рассеивание энергии и т.д.

Совокупность рассмотренных понятий дает возможность многоаспектного представления функций и способствует более точному определению области возможных решений. Такая классификация позволяет также лучше представить иерархию взаимосвязи функций.

Отображение изделия в виде функций и их отношений получило название функциональной модели (это модели логического типа). Процесс построения и использования функциональных моделей будем называть функциональным моделированием. Функциональное моделирование дает логическое описание объекта.

Наряду с функциональными моделями могут быть использованы структурные модели, дающие представления о

составляющих объектах, их основных взаимосвязях на разных уровнях иерархии (см. рис. 2).

По сравнению с методом математической теории оптимизации, предполагающей нахождение оптимального значения целевой функции с помощью сложных алгоритмов машинных программ, ФСА не нацелен на нахождение точного оптимума. Этот метод ориентируется на приближенную оптимизацию с использованием доступных и относительно простых алгоритмов, или иначе говоря, правил, предусматривающих комплексную поэтапную технико-экономическую оценку решений с учетом не только внутренних, но внешних характеристик объекта, которые не всегда могут быть представлены в виде формализованных математических зависимостей.

Чрезмерная трудоемкость вычислений, присущих теории оптимизации, при решении задач малой и средней сложности побуждают специалиста отдавать предпочтения ФСА, который является обобщенным методом технико-экономического исследования. Он базируется на методах и принципах теории систем и системного подхода, методах инженерного анализа; методах экономического анализа. При проведении ФСА эффективно используются различные эвристические методы и методы активизации в творчестве.

В качестве примера применения ФСА при проектировании машин рассмотрим процесс формирования перспективного типажа тракторов ОАО «Минский тракторный завод». Типаж тракторов состоит из ряда семейств, состоящих из базовых моделей и модификаций, удовлетворяющих разнообразным потребностям народного хозяйства страны и характеризующий основным классификационным параметрам – номинальным тяговым $F_{кр.н}$ усилием, выражающим в тоннах. В настоящее время типаж тракторов завода состоит из восьми семейств: 0,2; 0,6; 0,9; 1,4; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0. В ближайшее время будет реализован девятый класс – 8,0. При формировании типажа тракторов может использоваться два подхода: один, связанный с выбором семейств тракторов, включающих колёсные и гусеничные модификации и основывающийся на предпочтительном ряде цифр, отображающий номинальное тяговое усилие, наибольший экономический эффект и

потребности народного хозяйства. Под этот типаж формируется ряд агрегируемых машин и орудий.

Другой подход ориентируется на перспективные технологии, используемые в сельском и лесном хозяйствах, дорожном и городском строительстве, горной и добывающей промышленности, освоении болот и заболоченных земель и др. При этом учитываются размеры и контуры обрабатываемых площадей, сопротивление почвы обработке различными агрегируемыми машинами, объемы перемещаемого грунта и др. Как правило, технологические операции представлены соответствующими технологическими картами, где наряду с машинами представлен и соответствующий ряд тракторной техники.

По нашему мнению, второй подход более предпочтителен. Он основан на тяговых и ротационных усилиях, развиваемых тракторами, и необходимых для работы одиночных или комплексных машин и орудий, агрегируемых с последними. Систематизация тяговых нагрузок позволит сформировать соответствующий диапазонный ряд – основу для разработки типажа тракторной и другой мобильной техники.

Предварительный ФСА, проведенный в этой области знаний показывает, что существуют определённые диапазоны тяговых усилий и мощностей, которые охватывают весь перспективный типаж (рисунок 4).

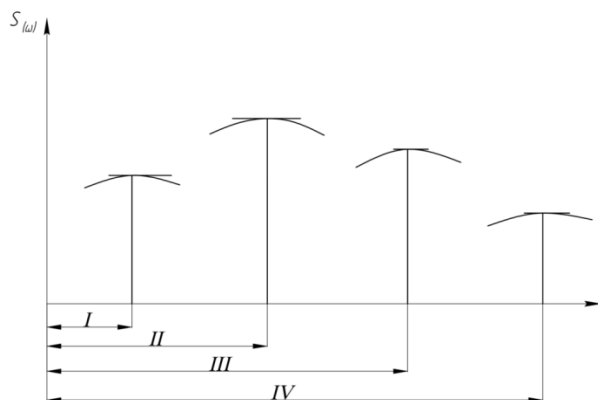


Рисунок 4 - Плотность распределения $S(w)$ семейств тракторов перспективного типажа в зависимости от w ($F_{кр}$)

Пики плотности распределения (I, II, III, IV) показывают рациональный диапазон семейств тракторов.

Первый диапазон формируется в пределах тяговых сопротивлений от 2,0 до 6,0 кН и состоит из агрегируемых машин, предназначенных для фермерских хозяйств, животноводческих ферм, садовых и огородных участков и, частично, в городском хозяйстве. Мощность двигателя тракторов при этом колеблется от 2 до 15 кВт. Колёсный движитель формируется по схемам 2х2 и 4х4.

Ко второму диапазону относятся агрегируемые машины и орудия, наиболее распространённые в сельском хозяйстве при возделывании низко- и высокостебельных культур таких как злаковые и зернобобовые, картофель, кукуруза, хлопок и др.; влаголюбивых – рис, клюква и др. Трактор этого семейства (класса) в качестве базовой модели и модификаций широко используется в городском и лесном хозяйствах, дорожном строительстве, промышленности, при обработке горных склонов и при осушении болот и заболоченных земель и т.д.

Диапазон тяговых усилий при этом составляет 9,0 – 20,0 кН, а мощность двигателя от 60 до 100 кВт. Тракторы этого класса могут включать как колёсные модели 4х2, 4х4, так и гусеничные модификации.

Эти тракторы являются универсально-пропашными и могут иметь промышленные модификации.

К третьему классу или семейству относятся колёсные и гусеничные тракторы, агрегируемые с комплексными машинами, требующие значительных тяговых усилий, мощности и её отбора через валы отбора мощности.

В сельском и лесном хозяйствах комплексы машин, навешиваются на трактор спереди, сзади и посередине, например, комплексный агрегат, производящий весенние полевые работы по возделыванию почвы (пахота, ... боронование), посева и внесения удобрений, прикатывания и т.д.

Диапазон тяговых усилий в этом классе должен находиться в пределах 30,0...50,0 кН и более с двигателями мощностью от 150 до 250 кВт.

К четвёртому классу следует отнести тракторы с колёсным или гусеничным двигателем, с двигателем мощностью от 300 до 500 кВт и тяговым усилием от 5.0 до 8.0, унифицированными трансмиссиями, системами подвески, кабинами, навесными системами и др. Они предназначены для работ в сельском хозяйстве при агрегатировании с колёсными агрегатами, требующие больших тяговых усилий, в городском хозяйстве и строительстве в агрегате с различного рода машинами, требующими отбор мощности и т.д.

Различное тяговое усилие должно достигаться за счёт комплектации колёсного двигателя различным количеством шин, системами автоматического регулирования воздуха в шинах.

На базе машин этого класса могут создаваться машины для лесохозяйственного комплекса, дорожного строительства и др.

В лесном хозяйстве эти комплексные машины должны производить одновременно ряд операций по заготовке древесины, а именно: срезка стволов, обрезка сучьев, разделка хлыстов, их погрузка и вывозка на нижний склад

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ФСА является обобщенным методом технико-экономического исследования, базирующегося на методах и принципах теории систем и системного подхода, включающего в себя компьютерные и информационные технологии проектирования, методы инженерного и экономического анализа. При проведении ФСА эффективно используются эвристические методы и методы активизации творческого мышления.

Все перечисленные положения и способы применения ФСА можно использовать на Минском автомобильном заводе, Белорусском автомобильном заводе и других предприятиях, выпускающих мобильные машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплан, Р. Функционально-стоимостной анализ: практическое применение / Р.Каплан, Р.Купер. – М.: ООО «ИД Вильямс», 2008. – 352 с.
2. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества: учебное пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.