

DOI: 10.36622/VSTU.2021.15.23.004

УДК 338.45

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.В. Ершова, М.А. Прилуцкая, А.Д. Мурукина

*ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19*

Введение. Внедрение технологий Индустрии 4.0 и усиление тенденций к кастомизации продукта приводят к принципиальному изменению для потребителя значимости функций промышленной продукции. В статье приведен обзор подходов к выделению функций изделий и сделан вывод о необходимости их новой классификации с выделением базовых и опциональных функций, а также отдельном рассмотрении управляющих и обеспечивающих функций и учета затрат на комплексную потребительскую характеристику.

Данные и методы. Теоретической и методологической основой исследования являлись труды отечественных и зарубежных ученых, посвященных применению методов функционально-стоимостного анализа и функционально-стоимостного инжиниринга высокотехнологичной продукции, а также исследования о тенденциях кастомизации и цифровизации производства. Апробация предлагаемых в статье подходов проводилась на примере разработки высотного штабелера. Для выделения базовых и опциональных функций использовались методы анкетирования потребителей различных сегментов и определения конкурентной цены. Для построения функциональных карт применялись методы экономического и статистического анализа, метод экспертных оценок.

Полученные результаты. Предлагаемый модернизированный подход позволил сократить на 50 тыс. руб. стоимость базовой комплектации изделия за счет определения и исключения опциональных функций. Разработанная авторская классификация функций, а также ступенчатый алгоритм распределения затрат на комплексную потребительскую характеристику, обеспечили более точное определение точек рассогласования и направлений снижения затрат при соблюдении необходимых требований к качеству.

Заключение. Результаты исследования могут быть использованы в качестве научно-методической основы проектирования функциональных моделей при проведении функционально-стоимостного анализа (инжиниринга) технически сложных изделий.

Сведения об авторах:

Ершова Ирина Вадимовна (i.v.ershova@urfu.ru) доктор экономических наук, профессор кафедры организации машиностроительного производства

Прилуцкая Мария Андреевна (M.A.Prilutskaya@urfu.ru), кандидат экономических наук, заведующая кафедрой организации машиностроительного производства

Мурукина Анастасия Дмитриевна (admurukina@urfu.ru) аспирант, ассистент кафедры организации машиностроительного производства

On authors:

Irina V. Ershova (i.v.ershova@urfu.ru) Doctor of Economics, Professor of the Machine Building Production Organization Department

Maria A. Prilutskaya (M.A.Prilutskaya@urfu.ru) Ph.D. in Economics, Head of the Machine Building Production Organization Department

Anastasia D. Murukina (admurukina@urfu.ru) Graduate Student, Assistant of the Machine Building Production Organization Department

Ключевые слова: функционально-стоимостной анализ, функционально-стоимостной инжиниринг, функциональная модель изделия, классификация функций, машиностроительные изделия, цифровизация промышленности, кастомизация, жизненный цикл изделий

Для цитирования:

Ершова И.В. Модернизация метода функционально-стоимостного анализа в условиях цифровой трансформации промышленности / И.В. Ершова, М.А. Прилуцкая, А.Д. Мурукина // Организатор производства. 2021. Т.29. № 4. С. 35-34. DOI: 10.36622/VSTU.2021.15.23.004

VALUE ANALYSIS METHOD MODERNIZATION IN THE CONTEXT OF INDUSTRY DIGITAL TRANSFORMATION

I.V. Ershova, M.A. Prilutskaya, A.D. Murukina

Ural Federal University

Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira, 19

Introduction. *The introduction of Industry 4.0 technologies and the strengthening of trends towards product customization lead to a fundamental change for the consumer in the importance of the functions of industrial products. The article provides an overview of approaches to the allocation of product functions and concludes that a new classification of functions with the allocation of basic and optional functions is necessary, as well as a separate consideration of control and supporting functions and cost accounting for a complex consumer characteristic.*

Data and methods. *The theoretical and methodological basis of the research was the works of domestic and foreign scientists devoted to the application of the Value Analysis method and the Value Engineering method of high-tech products, as well as research on trends in customization and production digitalization. Approval of the approaches proposed in the article was carried out on the example of the development of a high-rise stacker. To highlight the basic and optional functions, we used the methods of surveying consumers of various segments and determining a competitive price. To construct functional maps, the methods of economic and statistical analysis, the method of expert assessments were used.*

Results. *The proposed modernized approach made it possible to reduce the cost of the basic configuration of the product by 50 thousand rubles by identifying and excluding optional functions. The developed author's classification of functions, as well as the stepwise costs allocation algorithm for a complex consumer characteristic, provided a more accurate determination of mismatch points and directions for reducing costs while meeting the necessary quality requirements.*

Conclusion. *Research results can be used as a scientific and methodological basis for the design of functional models when carrying out a functional-cost analysis (engineering) of technically complex products.*

Key words: *Value Analysis, Value Engineering, product functional model, function classification, engineering products, digitalization, customization, product life cycle*

For quoting:

Yershova I.V. Modernization of the method of functional and cost analysis in the conditions of digital transformation of industry / I.V. Yershova, M.A. Prilutskaya, A.D. Murukina // Production organizer. 2021. Vol.29. No. 4. pp. 35-34. DOI: 10.36622/VSTU.2021.15.23.004

Введение

Цифровизация экономики признана стратегическим направлением в Российской Федерации. Среди приоритетных направлений авторами стратегии научно-технологического развития России до 2035г. выделяются цифровые

производственные технологии, развитие систем, способных обрабатывать большие объемы данных, искусственный интеллект и машинное обучение [1]. Цифровая трансформация промышленности реализуется в рамках Индустрии 4.0, суть которой состоит в ускоренной интегра-

ции киберфизических систем в производственные процессы, в результате чего значительная часть производства будет осуществляться без участия человека.

Данная концепция предполагает объединение современных информационно-коммуникационных технологий с производственным оборудованием и средствами автоматизации, направленное на организацию и контроль всей цепи создания стоимости на протяжении всего производственного цикла продуктов и услуг [1]. Возможности цифрового проектирования и производства позволяют решить основную задачу кастомизации продукта, заключающуюся в производстве товаров и услуг, призванных удовлетворить потребности отдельного клиента с эффективностью, близкой к массовому производству [2-5].

В современной высокотехнологичной промышленности происходят значительные структурные изменения – смещение центра тяжести в глобальной конкуренции на этап проектирования. Традиционные подходы и технологии, основанные, как правило, на доводке изделий путем дорогостоящих испытаний, достигли своего «потолка» в развитии и применении и фактически становятся неконкурентоспособными [6]. Именно поэтому машиностроительные предприятия при работе в новых условиях должны максимально сократить сроки вывода новых продуктов на рынок в первую очередь за счет применения эффективных способов проектирования, позволяющих быстро и точно определить требования заказчика и предложить концепцию изделия по конкурентной цене, полностью удовлетворяющую индивидуальным запросам будущих потребителей. Новые процессы разработки изделий не должны строиться на «классических» подходах, описанных в ГОСТ «доцифровой» эпохи, они требуют новых подходов для функционирования

гибкого производства, оптимизировавшего все свои производственные процессы, чтобы иметь возможность быстро реагировать на потребности клиентов и изменения на рынке, сохраняя при этом контроль над затратами и качеством [1].

Универсальным методом, положительно зарекомендовавшим себя на протяжении более полувека своего применения, является функционально-стоимостной анализ (ФСА), применяемый при модернизации продуктов, процессов, структур, или функционально-стоимостной инжиниринг (ФСИ), применяемый при проектировании новых изделий. Но в условиях кастомизированного производства и цифровых технологий данный метод нуждается в модернизации.

Целью работы является адаптация метода функционально-стоимостного анализа для проектирования высокотехнологичной машиностроительной продукции под условия цифровой экономики и с учетом требований к кастомизированному продукту.

Теория

Наиболее распространенное определение ФСА – это метод системного исследования функций объекта (изделия, процесса, структуры), направленный на минимизацию затрат в сферах проектирования, производства и эксплуатации объекта при сохранении (повышении) его качества и полезности [7]. Ключевым моментом функционально-стоимостного анализа является понятие «функция». Существует множество трактовок данного термина, но большинство определений авторов [7-10] описывают функцию, как способность объекта выполнять определенное действие, т.е. обеспечивать какое-либо потребительское свойство. Под свойством понимается определенная сторона (признак) объекта, с помощью которого он взаимодействует с другими объектами и их признаками (рис. 1).

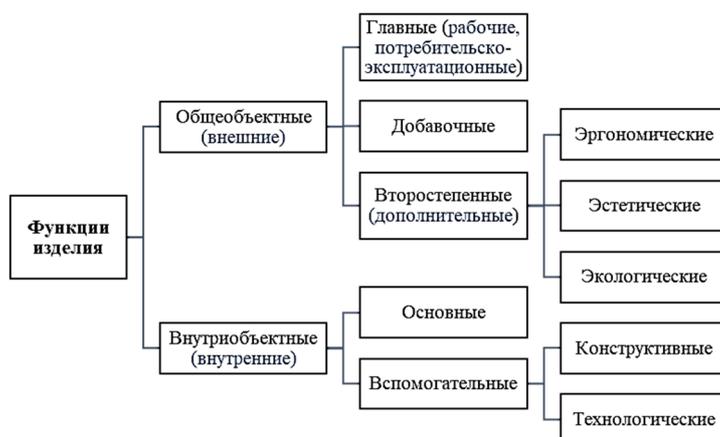


Рис. 1. Общепринятая в ФСА классификация функций изделий

Fig. 1. Common classification of product functions in the Value Analysis

Множество свойств объекта, проявляющихся через функции и делающих его пригодным для удовлетворения потребностей общества, составляет качества этого объекта [11], которые и определяют его потребительскую ценность. Важным аспектом является то, что функция не должна быть связана с конкретным методом исполнения действия объекта или его способностью удовлетворять определенные потребительские свойства [10].

Для удобства описания технических систем с помощью функционально подхода в ФСА принято выстраивать иерархию функций. Любой сложный объект можно классифицировать по многим признакам, поэтому различными авторами предлагаются разные классификации функций. Сопоставив иерархии функций, используемые в ФСА, и сформировав общую схему (рис. 1) можно отметить, что чаще всего функции изделий подразделяют по области проявления на «общеобъектные» (альтернативное название «внешние») и «внутриобъектные» (альтернативное название «внутренние»).

В составе общеобъектных функций по роли в удовлетворении потребностей выделяются «главные» (альтернативное название «рабочие» или «потребительско-эксплуатационные»), «добавочные» и «второстепенные» (альтернативное название «дополнительные») функции. При

этом, в большинстве случаев анализируемый объект имеет только одну главную функцию, но встречаются также многофункциональные объекты, которые могут иметь две-три главных функции, примером могут служить станки типа обрабатывающий центр [9]. По роли в рабочем процессе, протекающем внутри объекта при его функционировании, к «главной» функции относят «основные», которые декомпозируются на «вспомогательные» функции, которые в свою очередь подразделяются на «конструктивные» и «технологические». К «второстепенным» функциям по роли в проявлении потребительских свойств объекта чаще всего относят «эргономические», «эстетические» и «экологические».

Отметим, что приведенная классификация функций широко используется как отечественными, так и зарубежными исследователями при проведении ФСА или ФСИ различных изделий. При этом, многообразие терминов и признаков деления функций, обозначение одних и тех же групп функций разными понятиями создают сложность лаконичного и качественного формирования функциональной модели изделия. Ещё одним примером этого могут служить следующие часто встречаемые в ФСА группы функций (рис. 2):



Рис. 2. Аналитическая классификация функций
Fig. 2. Analytical classification of functions

- по характеру проявления (по выполнению): номинальные (целевые), действительные (существующие), потенциальные, дефицитные;
- по степени полезности, необходимости: полезные (позитивные, необходимые, требуемые), бесполезные (негативные) – нейтральные (ненужные, излишние) и вредные (побочные);
- по функциональному назначению: производительные (рабочие, потребительские, функции применения), непроизводительные;
- по характеру возникновения: первичные и вторичные (производные);
- по уровню выполнения (исполнения): недостаточные (требующие усиления), нормальные, избыточные.

Данные группы обычно указывают в составе основной классификации, которая была представлена на рис. 1. Однако, мы считаем, что они не позволяют описать исследуемый объект с функциональной точки зрения и могут использоваться в качестве аналитического инструмента после формирования функциональной модели изделия. В связи с чем, данную классификацию целесообразно указывать отдельно в качестве следующего шага по проведению качественного анализа выявленных функций. Состав и количество функций более низких уровней классификации (начиная с 3-4 уровней) зависят от конкретного технического решения. В источниках по теме ФСА [7-15] можно встретить не так много примеров групп более низкого уровня, обычно декомпозицию приводят только для основных и вспомогательных функций.

Таким образом, можно выделить следующие недостатки существующих классификаций функций:

- невозможность выстроить наглядно иерархию (подчиненность) функций;
- отсутствует единообразие терминов (одинаковые функции имеют разные названия);
- к разным классификационным признакам относятся одни и те же функции;
- у некоторых классификаций отсутствуют классификационные признаки, определения представленных групп функций;
- происходит смешение классификаций для формирования функциональной модели изделия (описания объекта) и классификаций для проведения анализа функций;
- не учитываются современные тенденции развития техники в рамках Индустрии 4.0;
- возникает сложность определения стоимости и значимости функций на основе построенной функциональной модели.

Используемые в настоящее время при проведении ФСА или ФСИ классификации функций были разработаны авторами и описаны в научных трудах 80-х годов прошлого века на основе опыта проведения функционально-стоимостного анализа изделий в основном в электротехнической промышленности. Сегодня мы видим высокую значимость трансформации обозначенных методов в условиях развития цифровизации, особенно в машиностроительной отрасли, изделия которой претерпевают значительные изменения в своем функциональном облике и должны иметь функции интегрирования в цифровую среду и экосистему.

Модернизация метода ФСА в части построения функциональных моделей изделий при цифровой трансформации промышленности является необходимым шагом для более эффективного применения метода. Стоит отметить, что основой новой индустрии являются следующие технологии, которые можно представить в виде 6 кластеров [1]:

1) *исполнительные механизмы* (манипулирование физической реальностью с помощью аппаратного и программного обеспечения);

2) *датчики* (собирают данные из физического окружения и передают их в цифровую среду);

3) *человеко-машинный интерфейс* (интерфейс для взаимодействия человека с киберфизической системой);

4) *технологии передачи данных* (инфраструктура для обмена данными между цифровой и физической средой);

5) *ИТ-инфраструктура* (инфраструктура для хранения и обработки данных внутри цифровой среды);

6) *анализ и обработка данных* (возможность анализировать и обрабатывать данные из/для бизнесопераций).

Следовательно, требуются дополнительные группы функций, связанные с управлением объектом и его интеграцией во внешнюю среду. Кроме этого, изделия новой индустрии становятся всё более сложными, а любая сложная техническая система – это синергетическое объединение механической, электрической и компьютерной частей [16]. Поэтому, моделирование всех отдельных частей объекта на единой методологической основе – на основе ФСА или ФСИ, позволит проектировать и исследовать многоаспектные модели.

Все перечисленные требования к продукции при цифровизации в рамках Индустрии 4.0, а также усиливающееся направление кастомизации указывают на необходимость дополнения существующих классификаций функций новыми группами, учитывающими специфику развития современного машиностроения. Таким образом, необходим новый подход к классификации функций современных изделий.

Данные и методы

Теоретической и методологической основой исследования являлись труды отечественных и

зарубежных ученых, рассматривающих требования цифровизации к современным изделиям, применение метода функционально-стоимостного анализа и функционально-стоимостного инжиниринга при модернизации и проектировании изделий различных отраслей промышленности, а также особенности построения функциональных моделей изделий, определения и описания их функций, классификации функций.

Объектом исследования служил высотный штабелёр. Выбор изделия подъемно-транспортного машиностроения был обусловлен тем, что это одна из самых динамично развивающихся подотраслей машиностроения, к выпускаемой технике которой сегодня предъявляются многочисленные и разнообразные требования со стороны её потребителей. Это и возможность интеграции в единую складскую систему, возможность длительной автономной работы, наличие функций автоматизации сложных операций для предотвращения аварийных ситуаций и многие другие, характерные для работы в условиях цифровизации.

Исследование базировалось на изучении практики проектирования высотного штабелера, изучении рынка складской техники, анализе плановых затрат. В качестве основных методов исследования использовались методы анкетирования и интервьюирования потребителей и эксплуатационных служб, оценки конкурентоспособности продукции, статистического анализа данных, экспертных оценок.

Полученные результаты

Авторами статьи в 2019-2020 гг. было проведено исследование рынка складской техники с последующим проведением функционально-стоимостного анализа и построением функциональной карты изделия.

На первом этапе исследования проводился опрос потенциальных потребителей различных сегментов рынка складской техники в Свердловской области. 50% из всех респондентов составили распределительные центры, 37% – логистические компании, 13% – торговые организации. По результатам проведенного опроса целевой фокус-группы были определены 8 ключевых групп потребительских характеристик высотных штабелеров, а также проведена оценка значимости данных характеристик для потребителей (рис. 3).



Рис. 3. Структура значимости параметров высотных штабелеров
Fig. 3. The structure of the parameters significance of high-rise stackers

Наибольшую значимость при выборе при выборе техники для покупки по мнению потребителей имеют технические характеристики (грузоподъемность, высота подъема и др.) – 35,6%, безопасность при эксплуатации – 17,5% и обслуживание техники – 14,8%. За реализацию первых трех групп характеристик отвечают функции, относящиеся к главной функции объекта, остальные 4 группы реализуются дополнительными функциями (рис. 4).

Указанные на рис. 3 группы характеристик позволяют сформировать полную функциональную модель изделия, однако в условиях клиенто-ориентированного производства важную роль играет возможность производителя формировать индивидуальные концепции изделий, добавляя к базовым свойствам, отражающим прямое назначение объекта, уникальные, учитывающие предпочтения потребителей и особенности эксплуатации. В связи с этим, всем участникам фокус-группы предлагалось выбрать, какие параметры высотного штабелера они хотели бы

видеть в базовой комплектации модели, а какие необходимы только как опция (функции, предоставляемые при необходимости за дополнительную плату).

По результатам опроса большинством респондентов к опциональным характеристикам были отнесены, например, наличие видеокамеры для наблюдения за вилами, наличие регулируемого подлокотника, возможность запуска штабелера с пин-кода, наличие селектора уровня стеллажей, наличие проблескового маячка на крыше и т.п. Всего из 67 предложенных характеристик в базовой комплектации штабелера потребители хотели бы видеть 36 характеристик, остальные, по мнению респондентов, не должны включаться в первоначальную (базовую) цену изделия. Отметим, что характеристики назначения, бренд и эстетичность, а также ремонтпригодность и обслуживание техники входят в базовую модель изделия и не были отнесены к опциональным параметрам.

Таблица 1

Высотный штабелер	Анализ «база-опция» «Base-Option» Analysis			
	Число базовых характеристик	Число опциональных характеристик	Суммарная потребительская значимость характеристик «базовой» модели в долях	Цена «базовой» комплектации, руб.
Потребительская модель	36	31	0,86	2 570 000
Объект исследования	32	35	0,88	2 620 000
Зарубежный аналог (Still)	42	25	0,89	2 650 000

Результаты проведенного анализа показали, что относительно «базовой» потребительской модели изделия в объекте ФСА отсутствует 4

«базовые» характеристики, при этом значимость на 2% превышает значимость востребованной потребителями «базовой» концепции. Данное

противоречие указывает на то, что 4 отсутствующие характеристики имеют невысокую потребительскую значимость, при этом, в базовой модели присутствуют функции, которые могут быть отнесены к опциям, требуется доработка функциональной модели. С точки зрения стоимости, конкурентная цена объекта исследования должна быть снижена на 50 тыс. руб. за счет исключения «опциональных» параметров из «базовой» модели.

На втором этапе исследования была предложена авторская классификация функций.

При выборе признаков классификации и дополнении существующей классификации

функций применительно к изделиям машиностроительной отрасли авторами был использован процессный подход, заключающийся в дифференциации всех процессов, протекающих в технической системе на:

- механические;
- гидравлические;
- пневматические;
- электромеханические;
- энергетические;
- процессы управления;
- процессы взаимодействия с внешней средой.

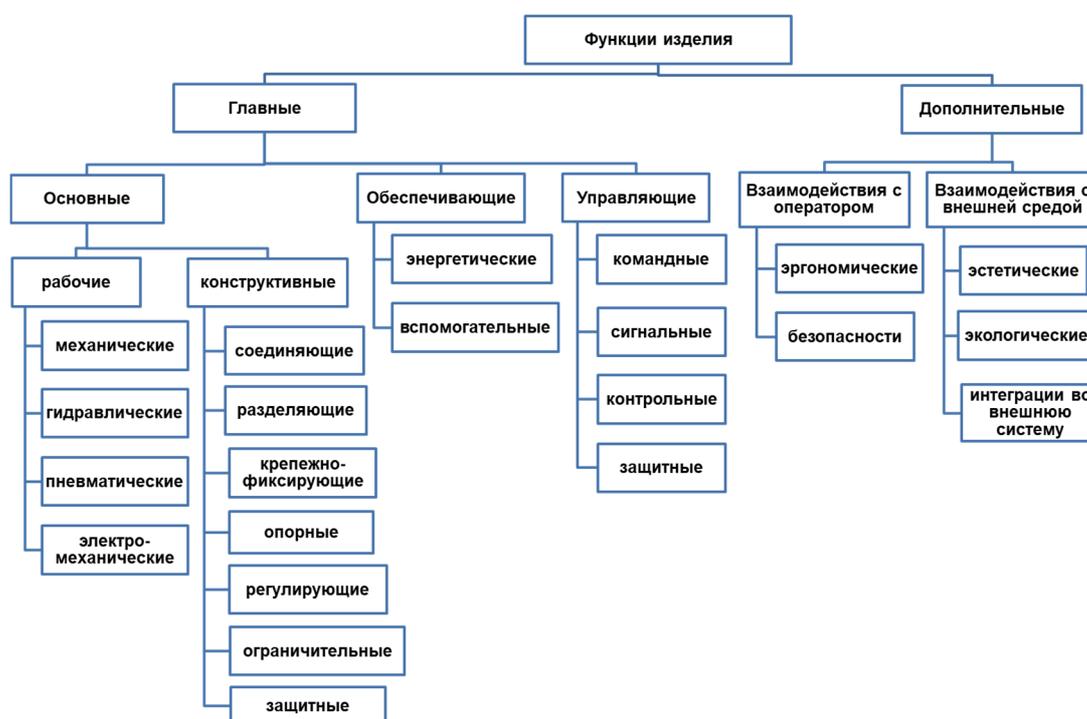


Рис. 4. Авторская классификация функций изделия
Fig. 4. Author's classification of product functions

Предложенный подход позволяет не только более точно описать само изделие, но и верно определить самую затратную и менее значимую функциональную область («точку рассогласования») для её дальнейшей проработки в рамках ФСА. Кроме того, процессный подход будет способствовать более легкому нахождению путей модернизации изделий, передовых конструкторско-технологических решений, что несомненно будет является конкурентным преимуществом для предприятий, работающих на открытых рынках. Разработанная авторами классификация функций изделия, учитывающая

современные тенденции развития техники в рамках трансформации промышленности, представлена на рис. 4. Спроектированная функциональная модель на основе данной классификации позволит в дальнейшем эффективно проводить модернизацию изделий по функциональным либо процессным областям.

По роли в удовлетворении потребностей функции подразделяются на «главные» и «дополнительные». Главные функции – это функции, определяющие назначение объекта (цель его создания). Дополнительные функции – это функции, определяющие взаимодействие

объекта с внешней средой. По роли в рабочем процессе, протекающем внутри объекта при его функционировании, к главным функциям относятся «основные», «обеспечивающие» и «управляющие».

Основные функции – это функции, способствующие реализации главных функций, выполняя функциональное назначение анализируемых объектов (систем) или их составных элементов. По роли в их реализации основные функции подразделяются на «рабочие» и «конструктивные» (способствующие осуществлению основных функций), которые в свою очередь декомпозируются на функции 4-го и последующих уровней: рабочие – по принципу работы, отражающие действия внутри объекта, конструктивные – по назначению, отражающие взаимосвязи внутри объекта.

В отдельную категорию были выделены обеспечивающие и управляющие функции.

Обеспечивающие функции – это функции, позволяющие обеспечивать работоспособность объекта, создающие необходимые условия для осуществления основных функций. По роли в реализации их можно декомпозировать на функции «энергетические» и «вспомогательные». Энергетические функции – это стратегические для развития функции, обеспечивающие автономность работы объекта. Вспомогательные функции – это функции, создающие условия реализации обеспечивающих функций.

Управляющие функции – это функции, позволяющие управлять взаимодействием функций как одного уровня, так и разных уровней (верхнего и нижнего), относящихся к основным и обеспечивающим. По роли в их реализации можно выделить: «командные», «сигнальные», «контрольные» и «защитные» функции. Командные функции – это функции, позволяющие подавать команды управления за счет приема, обработки, преобразования, передачи и хранения информации. Сигнальные функции – это функции, позволяющие подавать сигналы во внешнюю среду для принятия управленческих решений оператором или внешней системой. Контрольные функции – это функции, позволяющие осуществлять контроль за действиями объекта и его элементами, а также за воздействиями на него со стороны окружающей среды за счет приема, анализа, регулирования и передачи информации. Защитные – это функции, осу-

ществляющие защиту объекта от аварийных ситуаций.

Дополнительные функции определяют внешний облик изделия, удобство и безопасность его эксплуатации, экологичность, возможность встраивания во внешнюю информационную систему. Данная группа функций оказывает влияние на конструкцию объекта, но не влияет на назначение изделия, действия, которые он должен выполнять, и качество работы.

По характеру взаимодействия их можно разделить на функции «взаимодействия с оператором» и «взаимодействия с внешней средой».

По роли в проявлении потребительских свойств объекта дополнительные функции взаимодействия с оператором можно разделить на:

- «эргономические» – функции, создающие условия для удобной работы оператора;

- «безопасности» – функции, создающие условия для безопасной работы объекта при взаимодействии его составных элементов с оператором.

- При проектировании беспилотных объектов данная категория дополнительных функций может быть полностью исключена из иерархии. По роли в проявлении потребительских свойств объекта дополнительные функции взаимодействия с внешней средой можно разделить на:

- «эстетические» – функции, создающие восприятие человеком объекта с точки зрения внешнего вида;

- «экологические» – функции, предотвращающие нанесение вреда окружающей среде;

- «интеграции во внешнюю систему» – функции, позволяющие встраивать объект в внешнюю информационную систему управления.

Состав дополнительных функций определяется требованиями и предпочтениями потребителей конкретного сегмента рынка и может значительно варьироваться от более простых требований до самых специфичных. Необходимость ведения в классификацию функций «интеграции во внешнюю систему» обусловлена тем, что сегодня техника управляется не только оператором и внутренним программным обеспечением, но и внешней системой, в которую она может быть интегрирована. Результаты проведенного авторами

анкетирования потенциальных потребителей высотных штабелеров показали, что в последнее время наблюдается тенденция увеличения уровня автоматизации складских комплексов. Так, у 90% организаций, участвовавших в опросе, установлена информационная система, к которой подключен склад. Примерами таких систем служат: Warehouse Management System, Logistic MANAGER 8, Ахарта, 1С Управление Складом и другие. У 50% респондентов в данную систему полностью или частично интегрирована эксплуатируемая подъемная техника.

Таким образом, предложенная для создания функциональных моделей современного изделия классификация функций позволит осуществлять проектирование как базовой, так и опциональной концепции изделия, при этом, в базовую модель могут входить как функции, относящиеся к главным, так и дополнительные функции, что позволит проектировать индивидуальные функциональные карты изделия под каждого заказчика. Формирование персональной концеп-

ции изделия, учитывающей индивидуальные требования, будет способствовать повышению конкурентоспособности производителя на рынке.

Введение отдельных категорий «управляющих» и «обеспечивающих» функций потребовало иного подхода к расчету затрат на функции. Традиционно в ФСА для выявления точек рассогласования по показателю «стоимость-значимость» на функционально-стоимостной диаграмме (ФСД) отображались затраты на основные функции, которые формировались затратами на вспомогательные функции, входящие в них. Усложнение классификации потребовало более сложного расчета затрат на функции, поэтому на третьем этапе работы в соответствии с разработанной авторской классификацией был предложен алгоритм распределения затрат.

Логику взаимодействия основных, управляющих и обеспечивающих функций, а также расчета затрат на них можно представить в виде следующей схемы (рис. 5).

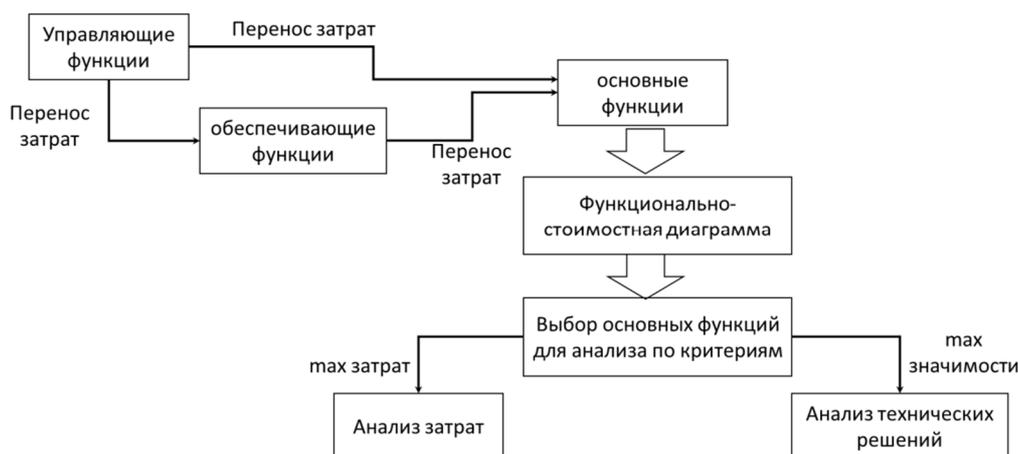


Рис. 5. Логика взаимодействия функций

Fig. 5. Function interaction logic

На основании проведенного исследования, в рамках которого была получена информация о наиболее востребованных технических характеристиках высотных штабелёров, требованиях потребителей к продукту, о процессе и условиях эксплуатации, было определено функциональное назначение изделия – обеспечивать транспортировку и размещение на стеллажах высотой до 8 м груза весом до 2 т (Главная функция).

На втором уровне иерархии были выделены 3 основные функции (ОФ):

- осуществлять транспортировку груза весом до 2 т (ОФ1);
- осуществлять подъем груза весом 2 т на высоту до 8 м (ОФ2);
- осуществлять размещение груза весом до 2 т в месте хранения (ОФ3).

В качестве функций 3 уровня классификации были выделены, например:

- рабочие функции (ОФр):
 - осуществлять торможение (ОФ1рмех);

○ осуществлять подъем/опускание груза сверх уровня свободного подъема на высоту до 8000 мм (ОФ2ргидр);

- конструктивные функции (ОФк);

○ образовывать несущую систему (ОФкоп);

○ удерживать грузоподъемник (ОФксоед).

К обеспечивающим функциям (ОбФ) были отнесены, например:

аккумулировать электрическую энергию и питать системы штабелёра в течение 8 часового цикла эксплуатации (ОбФэнерг);
подавать гидравлическую жидкость к гидрораспределителю (ОбФвспом).

В качестве примера управляющих функций (УпФ) приведем следующие:

- останавливать подъем груза при приближении к необходимой высоте (УпФкоманд);
- издавать звук при уровне заряда батареи менее 10% (УпФсигнал);
- измерять и визуализировать высоту подъема груза (УпФконтр);
- замедлять скорость подъема/опускания груза при приближении к крайнему верхнему/нижнему положению (УпФзащ).

Каждая из обеспечивающих и управляющих функций может быть отнесена к той или иной основной функции, которая необходима для реализации главной функции назначения объекта. Также, в рамках проектирования функциональной карты высотного штабелёра были выделены дополнительные функции (ДпФ), связанные с взаимодействием объекта с внешней средой. Всего было выделено 67 функций, приведём примеры некоторых из них:

- обеспечивать возможность регулирования консоли (ДпФэрг);
- обладать глянцевой поверхностью (ДпФэст);
- не превышать уровень шума в 70 дБ при эксплуатации (ДпФэко);
- осуществлять световое оповещение движения штабелёра (ДпФб);
- обладать операционной системой, поддерживающей удаленный доступ (ДпФинт).

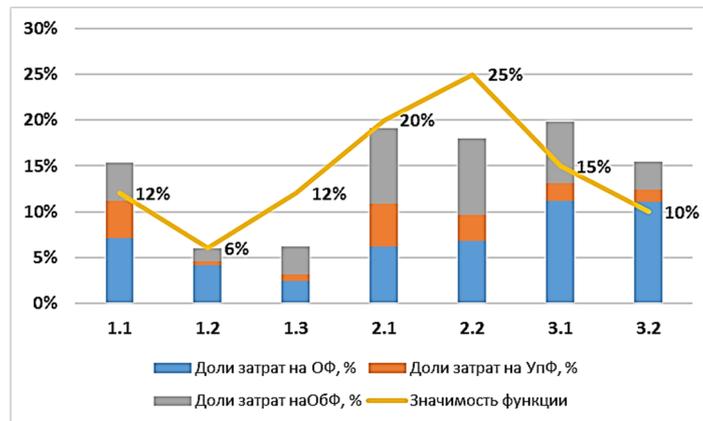


Рис. 6. Функционально-стоимостная диаграмма главной функции высотного штабелёра
Fig. 6. Functional-cost diagram of the main function of the high-rise stacker

Построение ФСД проводилось для 7 основных функций 3-го уровня, относящихся к главной функции (рис. 6). Построение ФСД для дополнительных функций проводится аналогично, где для каждой из функций 2-го уровня могут быть выделены основные, управляющие и обеспечивающие функции 3-го уровня.

На представленной диаграмме рис. 6 видно, что наибольшее рассогласование по критериям «стоимость-значимость» имеют комплексные характеристики (функции) 3.1 и 3.2, связанные с

размещением груза весом до 2 т в месте хранения. Затраты на данные функции превышают их значимость, следовательно, требуется поиск резервов снижения затрат в области обеспечивающих и управляющих функций, т.к. затраты на реализацию основных функций не превышают значимость. То же самое можно наблюдать и для функции 1.1., относящейся к транспортировке груза, резервы снижения затрат здесь также стоит искать в области двух данных категорий.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при проведении ФСА целесообразно рассматривать комплексные характеристики, объединяющие в себе основные, управляющие и обеспечивающие функции, имеющие общую значимость. Для потенциального потребителя, оценивающего значимость той или иной функции важна не отдельная функция, а набор данных функций, реализующих необходимую характеристику, представляющую для него ценность. Представление на ФСД комплексной потребительской характеристики, а не отдельных функций, как принято в ФСА, позволяет снизить неточность экспертной оценки значимости функций, а также определить направление, в котором возможно проведение сокращения затрат: процесс выполнения работы (основные функции), обеспечение работы (обеспечивающие функции) или управление работой (управляющие функции). Построение ФСД с отдельным выделением категорий «основных», «управляющих» и «обеспечивающих» функций позволяет более точно проводить анализ точек рассогласования, выявляя проблемные функциональные области, что, в свою очередь, способствует более эффективному развитию продукта.

Заключение

Цифровая трансформация промышленности, проходящая в рамках Индустрии 4.0, кардинально изменит все производственные и технические системы. Новые требования, предъявляемые к выпускаемым изделиям, обуславливают необходимость обновления существующих подходов проектирования. Метод функционально-стоимостного анализа, находящийся на стыке двух наук: технических и экономических, позволяет не только находить наилучшие конструктивные решения и предлагать потребителям передовые концепции изделий, но и обеспечивает экономию затрат при изготовлении, а также эксплуатации и дальнейшем обслуживании продукции. На протяжении более полувека применения ФСА (ФСИ) была доказана его высокая эффективность как в отечественной, так и зарубежной практике. В новых условиях работы освоение и применение метода ФСА (ФСИ) станет конкурентным преимуществом промышленных предприятий, выпускающих высокотехнологичную продукцию.

На основе результатов проведенного исследования была предложена авторская концепция

формирования «базовой» и «опциональной» комплектации изделия, а также авторская классификация функций, объединяющая наиболее распространенные классификации и дополненная необходимыми для цифровизации группами функций. Был предложен инструмент многоступенчатого распределения затрат на функции в соответствии с разработанной классификацией для построения функционально-стоимостной диаграммы в рамках ФСА. Модернизация метода функционально-стоимостного анализа, с учетом требований кастомизации и цифровизации, позволит повысить конкурентоспособность выпускаемых на рынок продуктов.

Библиографический список

1. Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий. Москва, 2019. 172 с.
2. Davis C. Future Perfect. – Tseng&Jitao. – 2001, p. 685.
3. Kaplan A.M., Haenlein M. Toward a parsimonious definition of traditional and electronic mass customization // Journal of product innovation management. – 2006. – Т. 23. – №. 2. – pp. 168-182.
4. Азоев Г.Л., Старостин В.С. Технологии кастомизации // Маркетинг. – 2013. – №. 1. – С. 86-102.
5. Брежнева В.М. Кастомизация как новая парадигма управления маркетингом // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2012. – №. 1. – С. 306-312.
6. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В., Марусева В.М., Кулемин В.Ю. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. – 2019. – №. 32. – С. 2-39.
7. Моисеева Н.К., Карпунин М.Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа: Учеб. пособие для тех. Спец вузов. – М.: Высш. шк., 1988. – 192 с.
8. Герасимов В.М. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: Метод. рек. / В.М. Герасимов, В.С. Калищ, М.Г. Карпунин и др. – М.: Информ-ФСА. – 1991. – 40 с.
9. Ковалев А.П. Основы стоимостного анализа: Учеб. пособие. / А.П. Ковалев, В.В. Рыжова. – М.: Финансы и статистика. – 2007. – 208 с.: ил.

10. Карпунин М.Г., Майданчик Б.И. Функционально-стоимостной анализ в отраслевом управлении эффективностью. – М.: Экономика. – 1983. – 200 с.
 11. Анискин Ю.П. и др. Новая техника: повышение эффективности создания и освоения / Ю.П. Анискин, Н.К. Моисеева, А.В. Проскуряков. – М.: Машиностроение. – 1984. – 192 с.: ил.
 12. Соболев Ю.М. Конструктор и экономика: ФСА для конструктора. – Пермь:Кн. Изд-во. – 1987. – 102 с.
 13. Рыжова, В.В. ФСА в решении управленческих задач по сокращению издержек / В.В. Рыжова. - М.: Эксмо. – 2009. – 240 с. – (Антикризисный менеджмент).
 14. Карпунин М.Г., Майданчик Б.И., Грамп Е.А. Основы функционально-стоимостного анализа // М.: Энергия. – 1980. – 174 с.
 15. Карпунин М.Г. Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электро-технической промышленности. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 288 с.: ил.
 16. Воронин А.В. Моделирование технических систем: учебное пособие // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2013. – 130 с.
- Поступила в редакцию – 04 сентября 2021 г.
Принята в печать – 10 сентября 2021 г.

References

1. A guide to the digital transformation of manufacturing plants. Moscow, 2019. 172 p.
2. Davis C. Future Perfect. – Tseng&Jitao. – 2001, p. 685.
3. Kaplan A.M., Haenlein M. Toward a parsimonious definition of traditional and electronic mass customization // Journal of product innovation management. – 2006. – Т. 23. – №. 2. – pp. 168-182.
4. Azoiev G.L., Starostin V.S. Customization technologies // Marketing. - 2013. - № 1. - pp. 86-102.
5. Brezhneva V.M. Customization as a new paradigm of marketing management // Bulletin of Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. - 2012. - № 1. - pp. 306-312.
6. Borovkov A.I., Ryabov Yu.A., Kukushkin K.V., Maruseva V.M., Kulemin V.Yu. Digital twins and digital transformation of defense industry enterprises // Bulletin of the East Siberian Open Academy. - 2019. - №. 32. - pp. 2-39.
7. Moiseeva N.K., Karpunin M.G. Fundamentals of the theory and practice of value analysis: Textbook. manual for those. Specialist of universities. - M.: Higher. sch., 1988. - 192 p.
8. Gerasimov V.M. The main provisions of the methodology for conducting value analysis: Method. rivers. / V.M. Gerasimov, V.S. Kalish, M.G. Karpunin et al. - M.: Inform-VA. - 1991. - 40 p.
9. A.P. Kovalev Fundamentals of value analysis: Textbook. allowance. / A.P. Kovalev, V.V. Ryzhova. - M.: Finance and statistics. - 2007. - 208 p.: il.
10. Karpunin M.G., Maidanchik B.I. Value Analysis in Industry Performance Management - M.: Economics. - 1983. - 200 p.
11. Aniskin Yu.P. et al. New technology: increasing the efficiency of creation and development / Yu.P. Aniskin, N.K. Moiseeva, A.V. Proskuryakov. - M.: Mechanical engineering. - 1984. - 192 p.: ill.
12. Sobolev Y.M. Constructor and economics: VA for the constructor. - Perm: Book. Publishing house. - 1987. – 102 p.
13. Ryzhova, V.V. VA in solving managerial tasks to reduce costs / V.V. Ryzhova. - M.: Eksmo. - 2009. - 240 p. - (Anti-crisis management).
14. Karpunin M.G., Maidanchik B.I., Gramp E.A. Fundamentals of functional cost analysis // M.: Energiya. - 1980. - 174 p.
15. Karpunin M.G. The practice of carrying out a functional cost analysis in the electrical industry. - M.: Energoatomizdat. - 1987. - 288 p.: il.
16. Voronin A.V. Modeling of technical systems: textbook // Tomsk: Publishing house of the Tomsk Polytechnic University. - 2013. - 130 p.

Received – 04 September 2021
Accepted for publication – 10 September 2021