**Лабораторная работа № 1. Функционально-стоимостной анализ в конструкторской подготовке производства**

**Цель работы:** изучение методики и приобретение навыков построения структурной, функциональной и функционально-стоимостной моделей, диаграммы Парето и функционально-стоимостной диаграммы (FCD).

**Теоретические сведения**

Функционально-стоимостной анализ (FСА) – метод, позволяющий отображать наилучшие технические решения при создании и освоении новой техники или новой технологии, увязать в единый комплекс вопросы обеспечения функциональной полезности и качества новой техники (технологии) и минимизации затрат на ее производство и эксплуатацию, обеспечивая наилучшие соотношения между ними.

FСА является такой методологией организации проектирования, которая позволяет развивать показатели качества и составляет содержательную основу проектирования любого изделия (технологии), отражая основные его принципы, способствующие разрешению технико-экономических противоречий и улучшению принимаемых технических решений.

Цель FСА – снижение затрат на проектирование, изготовление и эксплуатацию изделия путем выбора такой конструкции, которая позволяла бы сократить совокупные затраты при одновременном сохранении или повышении качества продукции в пределах ее функционального назначения.

В соответствии с основными руководящими документами под FСА понимается метод системного исследования функций изделия (процесса, структуры), направленный на минимизацию затрат в сферах проектирования, производства и эксплуатации при сохранении (повышении) качества и полезности объекта для потребителей (т. е. направленный на оптимизацию соотношения затрат и потребительской стоимости).

Этот метод ориентирует на приближенную оптимизацию с использованием относительно простых алгоритмов, предусматривающих комплексную поэтапную технико-экономическую оценку решений с учетом не только внутренних, но и внешних характеристик объекта.

Как правило, FСА используется на стадиях научно-исследовательских работ (НИР), опытно-конструкторских работ (ОКР), конструкторской подготовки производства (КПП) и технологической подготовки производства (ТПП) для предотвращения появления неэффективных решений. Он позволяет абстрагироваться от предметной формы изделия и рассматривать его как совокупность функций, необходимых потребителю, определять минимально необходимые затраты на их рекомендацию с учетом значимости и важности, находить технические решения, укладывающиеся в заданные допуски по стоимости и качеству.

FСА применяется для снижения неоправданных издержек производства путем ликвидации ненужных функций и элементов (носителей функций), удорожающих продукцию.

В настоящее время широко используются три формы ФСА: творческая (на стадиях НИР и ОКР), корректирующая (на стадиях КПП, ТПП, отработки в опытном производстве (ООП), организационной подготовки производства (ОПП)) и инверсная (на стадии освоения изделия в промышленном производстве (ОСП)).

Как правило, FСА проводится в несколько этапов:

**1 Подготовительный этап**. На этом этапе выбирается объект исследования, формируются цели и желаемый результат анализа, составляется план выполнения ФСА.

**2 Информационный этап**. На этом этапе осуществляется подготовка и сбор необходимой информации об объекте исследования и его аналогах; составляется структурная модель (SМ) объекта; определяются затраты на каждый элемент объекта и удельный вес затрат по каждому элементу, исходя из общих затрат на изделие; строится диаграмма Парето.

*Структурная модель* объекта представляет собой с определенной степенью упрощения «скелет» изделия, его обобщенный вид. Однако следует отметить, что SМ не дает полного представления о связях и отношениях, возникающих в изделии при его функционировании. Она отражает только наиболее устоявшиеся, статические связи в системе, в то время как действительные свойства системы всего изделия проявляются через динамические связи, действия и взаимодействия, которые происходят в процессе функционирования системы.

Каждый конструктивный элемент изделия называется материальным носителем функций (МНF) и участвует в реализации основной и как следствие главной функции изделия.

*Расчет затрат* на каждый элемент МНF производится по одному из известных методов, в частности: по удельным показателям, по структурной аналогии, по методу баллов, по методу оценки на основе математических моделей и наконец прямым методом расчета по статьям калькуляции. Рекомендуется расчет затрат вести в табличной форме, в которой определяется удельный вес затрат по каждому элементу МНF и устанавливается порядок расположения затрат по убыванию, начиная с самых высоких их значений и заканчивая минимальными затратами, приходящимися на отдельный элемент изделия.

Исходя из структурной модели и расчета затрат по каждому МНF строится диаграмма Парето. При построении диаграммы Парето по оси абсцисс располагаются все МНF в порядке убывания их затрат, а по оси ординат откладывается удельный вес затрат в процентах от полной себестоимости изделия. При этом затраты учитываются нарастающим итогом.

В осях координат выделяются три зоны А, В и С, поэтому и метод получил название «АВС».

Первая зона А соответствует наибольшему сосредоточению МНF, составляющих 75 % общих затрат на изделие. Вторая зона В составляет 20 % общих затрат на изделие. Третья зона С соответствует остальным МНF, составляющим в сумме 5 % общих затрат, т. е. завершает картину распределения МНF по зонам и затратам в целом.

Согласно теории метода АВС, элементы МНF изделия, попавшие в зону А, подвергаются наиболее тщательному анализу и в первую очередь, затем могут подвергаться анализу МНФ, попавшие в зону В, а элементы, попавшие в зону С, как правило, тщательному анализу не подвергаются.

**3 Аналитический этап**. На этом этапе разрабатываются функциональная модель (ФМ), функционально-структурная модель (FСМ) и строится функцио­нально-стоимостная диаграмма (FСD).

*Функциональная модель* – это логико-графическое изображение состава и взаимосвязей функций изделия, получаемое путем их формулировки и установления порядка подчинения. Каждая функция имеет свой материальный носитель и свой индекс, отражающий принадлежность к определенному уровню FМ и порядковый номер.

Под функцией понимается проявление свойств изделия (объекта) в определенной системе отношений. Для удобства проведения FСА разнообразные функции, выполняемые проектируемыми изделиями, могут быть классифицированы по различным признакам, в частности: по области проявления – внешние и внутренние; по роли удовлетворения потребностей – главные и второстепенные; по роли в обеспечении работоспособности – основные и вспомогательные; по характеру проявления – номинальные, потенциальные и действительные; по степени полезности – полезные, нейтральные и вредные.

*Внешние функции* отражают функциональные отношения между объектом и сферой применения.

*Внутренние функции* отражают действия и взаимосвязи внутри объекта, они обусловлены принципом его построения, особенностям исполнения.

*Главная функция* объекта – функция, определяющая назначение, сущность и смысл существования объекта в целом.

*Второстепенная функция* не влияет на работоспособность объекта, отражает побочные цели его создания, обеспечивает его спрос.

*Основные функции* – функции, обеспечивающие работоспособность объекта, создающие необходимые условия для осуществления главной функции.

*Вспомогательные функции* способствуют реализации основных: соедини­тельных, изолирующих, фиксирующих, направляющих, крепежных и др.

Основным назначением классификации функций является выделение среди них полезных, нейтральных и вредных. Полезные функции – внешние и внутренние функции, отражающие функционально-необходимые потребительские свойства и определяющие работоспособность объекта. Нейтральные функции – это излишние функции, которые отрицательно не сказываются на работоспособности объекта, но удорожающие его. Вредные функции – функции, отрицательно влияющие на работоспособность объекта, не создающие потребительскую стоимость, – удорожающие объект.

На основании определения и классификации функций изделия строится функциональная модель изделия.

Построение FМ осуществляется следующим образом: на верхнем уровне FМ располагаются главные и второстепенные функции, т. е. внешние функции изделия; на втором уровне располагаются основные функции (внутренние), необходимые для реализации главной функции; на третьем (может быть четвёртом и т. д.) уровнях располагаются вспомогательные функции, которые обеспечивают основные.

Не зависимо от целей FСА при построении FМ следует учитывать, что функции верхнего уровня должны являться отражением целей функций нижнего уровня, а нижний уровень функций есть средство обеспечения функций вышестоящего уровня.

Каждой функции присваивается соответствующий индекс в зависимости от уровня FМ, который отражается в функциональной модели: главная функция – *F*1*;* второстепенные – *F*2, *F*3 и т. д.; основные – *F*11, *F*12 и т. д.; вспомогательные – *F*111, *F*112 и т. д.

Если изделие имеет в своем составе функционально завершенные части, по каждой из них строится своя FМ по тем же правилам, что и для изделия в целом.

После разработки функциональной модели с помощью экспертных методов осуществляется оценка значимости функций (*rj*) и их относительной важности для изделия в целом (*Rj*)*.*

Оценка значимости и важности функции ведется экспертными методами последовательно по уровням функциональной модели, начиная с первого (т. е. сверху вниз).

Нормирующим условием является следующее:

, (1.1)

где *rj –* значимость *j-*й функции, принадлежащей *k*-му уровню функциональ­ной модели;

*k –* число функций, расположенных на одном уровне функциональной мо­дели и входящих в общий узел вышестоящего уровня.

Учитывая многоступенчатую структуру функциональной модели, наряду с оценкой значимости функций по отношению к ближайшей вышестоящей, определяется показатель относительной важности функции любого уровня (*Rj*) по отношению к изделию в целом:

, (1.2)

где *G* – уровни функциональной модели.

Оценка значимости и относительной важности функций, как правило, осуществляется в табличной форме.

*Функционально-структурная модель* (FСМ) изделия создаётся методом совмещения структурной и функциональной моделей. Построение FСМ осуществляется путем наложения функциональной модели на структурную, в результате чего получается матрица. Строки матрицы FСМ отражают состав элементов МНF изделия и затраты на каждую функцию данного МНF, а столбцы-функции по уровням FМ. На пересечении строк и столбцов указывается величина затрат на *i*-го МНF на *j*-ю функцию.

Из построения FСМ видно, что отдельные МНF или группа МНF работают на одну функцию, тогда затраты на нее (*SF*) определяются затратами на создание соответствующего МНF. Расчет затрат осуществляется по формуле

**, (1.3)

где *Sмнф.j* – затраты (себестоимость) *j*-го МНF, руб.;

*m* – количество *j*-х МНF, работающих на *i*-ю функцию.

Если один и несколько МНF участвуют в удовлетворении нескольких функций, то затраты на него распределяются между функциями пропорционально степени значимости (*aij*) МНF в реализации данных функций. Затраты на *i*-ю МНF определяются по формуле

**. (1.4)

После определения относительной важности каждой функции и относительной величины затрат строится FСD. Это совмещенный график, наглядно показывающий соответствие относительной важности функции *(RF.i) –* квадрант над осью абсцисс и относительной величины затрат на эту функцию (*SF.i) –* квадрант под осью абсцисс.

Сопоставление верхней и нижней частей диаграммы по каждой из функций, отраженных на оси абсцисс (*Х*), позволяет выявить диспропорции в изделии и степень удовлетворения одного из важнейших принципов FСА: соответствия важности функций для потребителя затрат на ее реализацию в сфере производства и эксплуатации.

**Ход работы**

Ниже приведена упрощенная схема выполнения корректирующей формы функционально-стоимостного анализа технического объекта на примере трансформатора.

1 Краткая характеристика объекта. Среди многочисленных и разнообразных электротехнических приборов и устройств трансформаторы по широте распространения и универсальности применения занимают одно из первых мест. Их применяют в схемах источников питания радиоэлектронной аппаратуры (РEА) различного назначения, в усилителях и генераторах низкой частоты в качестве междукаскадных и выходных, в цепях высокочастотных контуров, приемно-усилительных устройств и других схемах. Мощность, габариты, размеры и масса различных трансформаторов варьируются в широких пределах. Технические характеристики трансформатора представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики трансформатора (рассматриваемый пример)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование параметров и показателей | Единицы  измерения | Значение |
| Параметры назначения | | |
| 1. Номинальная мощность | Вт | 60 |
| 2. Номинальное напряжение обмотки 1 | В | 220 |
| 3. Номинальное напряжение обмотки 2 | В | 36 |
| 4. Номинальный ток обмотки I | А | 0,15 |
| 5. Номинальный ток обмотки II | А | 5,0 |
| Показатели качества исполнения функций | | |
| Потери холостого хода | Вт | 0,6 |
| Срок службы | лет | не менее 15 |
| Вероятность безотказной работы за 3000 ч | – | не менее 0,99 |
| Показатели внешней среды | | |
| Температура внешней среды | °С | от –40 °С до +40 °С |
| Степень защищённости от внешних воздействий | – | IP22 |

2 Структурное моделирование рассматриваемого объекта. Структурная модель составляется на основе изучения конструкторско-технологической документации, в том числе спецификаций и имеет следующий вид (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Структурная модель трансформатора

3 Расчет затрат на МНF трансформатора. Расчет ведется в табличной форме (таблица 1.2) одним из методов.

4 Построение диаграммы Парето. Диаграмма строится на основе СМ (рисунок 1.2) и расчета затрат на МНF трансформатора (таблица 1.2), представлена на рисунке 1.2 Из рисунка 1.2 видно, что два наиболее дорогостоящих элемента (МНФ) попали в зону А, четыре элемента – в зону В и три элемента с наименьшими затратами попали в зону С.

Согласно теории АВС наиболее дорогостоящие элементы (обмотка I и магнитопровод) подвергаются наиболее тщательному анализу и в первую очередь.

Таблица 1.2 – Расчет затрат и удельного веса затрат по каждому МНФ исходя из общих затрат на изделие

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  показателя | Элементы (МНФ) трансформатора | | | | | | | | | |
| Магнитопровод | Каркас  катушки | Обмотка I | Обмотка II | Изоляция | Планка | Клеммы | Шпильки | Гайки, шайбы | Трансформатор |
| 1 Затраты, тыс. руб. | 1980 | 460 | 2100 | 1500 | 40 | 250 | 600 | 240 | 120 | 7290 |
| 2 Удельный вес затрат, % | 27,16 | 6,31 | 28,81 | 20,58 | 0,55 | 3,43 | 8,23 | 3,29 | 1,64 | 100 |
| 3 Ранжировка затрат по убыванию | 2 | 5 | 1 | 3 | 9 | 6 | 4 | 7 | 8 | – |



Рисунок 1.2 – Диаграмма Парето на трансформатор

5 Разработка функциональной модели трансформатора. FМ трансформатора строится в соответствии с приведенной выше классификацией функций, начиная с верхнего уровня (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Функциональная модель трансформатора: числитель – значимость функции (*rj*);знаменатель – относительная важность (*Rj*)*.*

6 Определение значимости *j*-й функции (*rj*) и относительной важности функции (*Rj*) любого уровня производится по формулам (2.6) и (2.7).

Как правило, для определения функций МНФ, установления значимости, а также расчета затрат на каждую функцию составляется таблица (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Определение функций, установление значимости и расчет затрат на каждую функцию, исходя из затрат на МНФ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование МНФ | Затраты на 1 МНФ,  руб. | Наименование функций трансформатора | Индекс функции | Значимость  функции | Затраты на 1 функцию, руб. |
| 1 Трансформатор | 7290 | 1 Обеспечивает преобразование напряжения  2 Обеспечивает удобство эксплуатации | *F*1  *F*2 | 0,9  0,1 | 6561  729 |
| 2 Катушка | 4100 | 1 Обеспечивает работу трансформатора  2 Обеспечивает преобразование напряжения | *F*11  *F*12 | 0,4  0,6 | 1640  2460 |
| 3 Крепёж | 360 | 1 Обеспечивает жесткость и надежность | *F*21 | 1,0 | 360 |
| 4 Клеммная планка | 850 | 1 Обеспечивает коммутацию и жесткость конструкции | *F*22 | 1,0 | 850 |

Продолжение таблицы 1.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 5 Магнитопровод | 1980 | 1 Обеспечивает замыкание магнитного потока  2 Обеспечивает режим преобразования напряжения | *F*111  *F*112 | 0,3  0,7 | 594  1386 |
| 6 Обмотка I | 2100 | 1 Обеспечивает режим преобразования напряжения  2 Создает первичный магнитный поток | *F*112  *F*121 | 0,5  0,5 | 1050  1050 |
| 7 Обмотка II | 1500 | 1 Обеспечивает режим преобразования напряжения  2 Обеспечивает продукцию | *F*112  *F*122 | 0,5  0,5 | 750  750 |
| 8 Каркас катушки | 460 | 1 Обеспечивает несущую конструкцию обмоток для обеспечения эксплуатации | *F*222 | 1,0 | 460 |
| 9 Изоляция | 40 | 1 Обеспечивает надежность прохождения тока | *F*212 | 1,0 | 40 |
| 10 Шпильки | 240 | 1 Обеспечивает жесткость конструкции | *F*211 | 1,0 | 240 |
| 11 Гайки, шайбы | 120 | 1 Обеспечивают жесткость конструкции | *F*211 | 1,0 | 120 |
| 12 Планка | 250 | 1 Обеспечивает коммутацию | *F*221 | 1,0 | 250 |
| 13 Клеммы | 600 | 1 Обеспечивает коммутацию | *F*221 | 1,0 | 600 |

Оценка относительной важности функций ведется последовательно по уровням FМ (рисунок 1.3).

7 Функционально-структурное моделирование. FСМ строится путем совмещения структурной модели (рисунок 1.1) и функциональной модели (рисунок 1.3). Распределение затрат по функциям производится по формулам (1.3) и (1.4) FСМ и распределение затрат по функциям

8 Построение функционально-стоимостной диаграммы (FСD) представлено на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Общий вид ФСД трансформатора

Из рисунка 1.4 видно значительное превышение затрат (0,44) по функции *F*112 над относительной важностью функции (0,25) и по функциям *F*211, *F*221 и *F*222. Именно эти функции и их МНF должны быть подвергнуты наиболее тщательному и в первую очередь анализу.

**Вариант задания**

В таблице 1.5 представлены варианты затрат на материальные носители функций трансформатора, а в таблице 1.6 – значимость функций по вариантам. Вариант выбирается по последнему номеру студента.

Необходимо построить диаграмму Парето, функционально-стоимостную модель и функционально-стоимостную диаграмму.

Таблица 1.5 – Затраты на материальные носители функций по вариантам

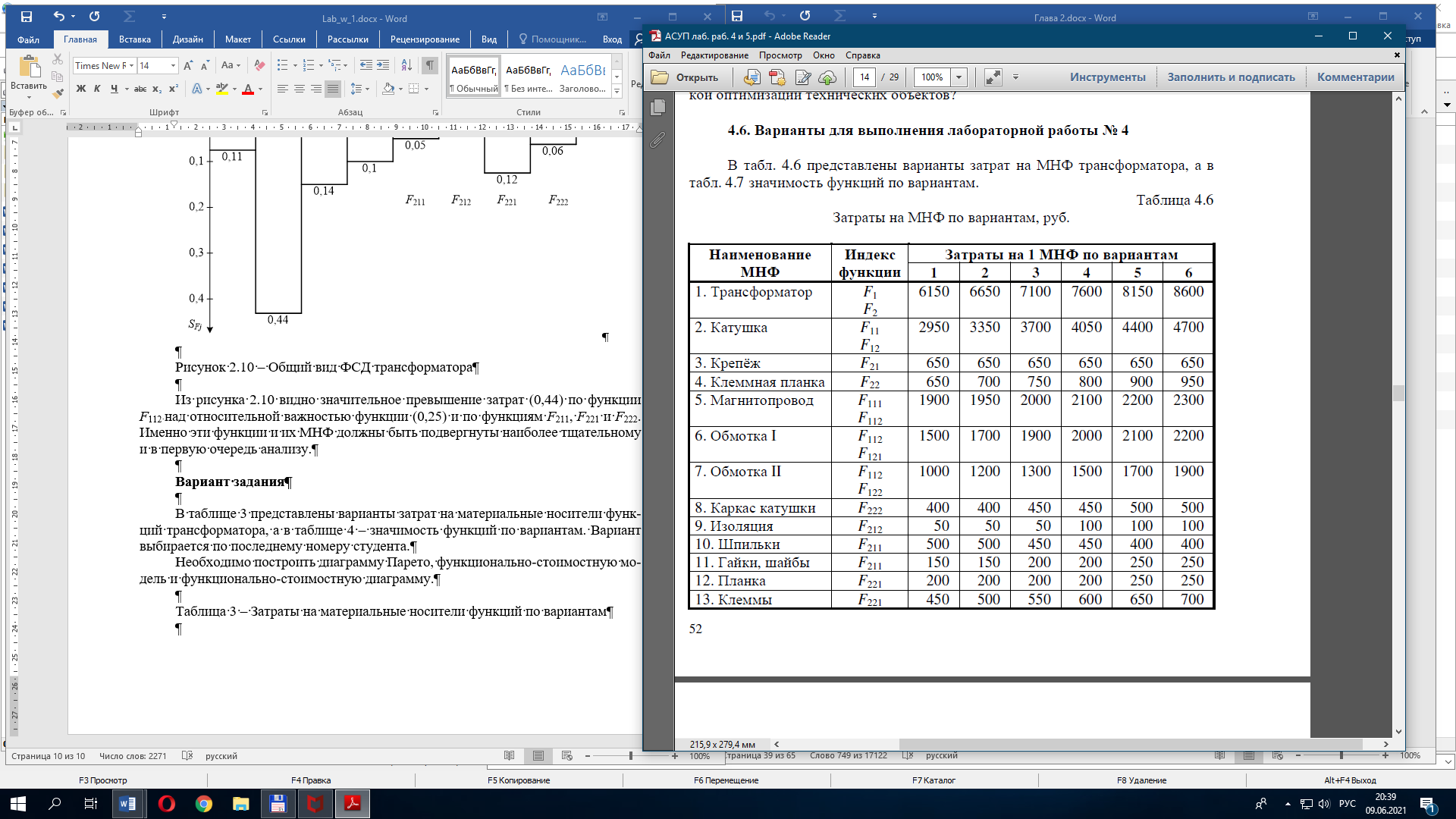


Таблица 1.6 – Значимость функций по вариантам

