

### 3. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

#### 3.1. Критерии надежности невосстанавливаемых систем

Основными критериями надежности невосстанавливаемых систем являются:

- вероятность безотказной работы  $P(t)$ ;
- гамма-процентная наработка на отказ;
- средняя наработка на отказ  $T_{cp}$ ;
- плотность распределения времени безотказной работы (частота отказов)  $f(t)$ ;
- интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

**Вероятность безотказной работы  $P(t)$**  – это вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданном интервале времени отказ объекта не возникает.

Функцию  $P(t)$  часто называют функцией надежности. Вероятность безотказной работы  $P(t)$  характеризует надежность невосстанавливаемых объектов или восстанавливаемых объектов до первого отказа.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  является убывающей функцией времени, имеющей следующие свойства:  $0 \leq P(t) \leq 1$ ,  $P(0) = 1$ ,  $P(+\infty) = 0$ .

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  можно связать с вероятностью отказа  $F(t)$  следующим соотношением:  $P(t) + F(t) = 1$ ;  $P(t) = 1 - F(t)$ .

Исходя из статистических данных об отказах, полученных из эксперимента или эксплуатации, вероятность безотказной работы  $P(t)$  определяется следующей статистической оценкой:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N} = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (3.1)$$

где  $N$  – общее число образцов, находящихся на испытании;  $N(t)$  – число исправно работающих образцов в момент времени  $t$ ;  $n(t)$  – число отказавших образцов в течение времени  $t$ .

**Пример.** В течение месяца наблюдение велось за 10 машинами (объектами). За период наблюдения отказала 1 машина. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа.

*Решение.*

$$N = 10;$$

$$N(t) = 9;$$

$$N(t) = 1.$$

$$P(t) + F(t) = 10 - 1/10 = 0,9 \text{ (или 90 \%)};$$

$$F(t) = 1 - 0,9 = 0,1 \text{ (или } 10 \%).$$

**Плотность распределения времени безотказной работы (частота отказов)  $f(t)$**  – это плотность распределения случайной величины. Характеризует надежность техники в данный момент времени  $t$  (точечная характеристика). Исходя из статистических данных об отказах, полученных из эксперимента или эксплуатации, частота отказов вычисляется по формуле

$$f(t) = \frac{n}{N \cdot \Delta t}, \quad (3.2)$$

где  $n$  – число отказавших образцов;  $N$  – число испытываемых образцов;  $\Delta t$  – промежуток времени.

**Интенсивность отказов  $\lambda(t)$**  определяется как отношение плотности распределения  $f(t)$  к вероятности безотказной работы объекта  $P(t)$  или как отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу образцов, исправно работавших в промежутке времени  $\Delta t$ :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{n}{N_{cp}(t) \cdot \Delta t}, \quad (3.3)$$

где  $n$  – число отказов за период времени;  $N_{cp}(t)$  – среднее число работоспособных объектов в момент времени  $t$ ;  $\Delta t$  – промежуток времени.

Интенсивность отказов характеризует долю изделий, отказывающих в промежуток времени  $\Delta t$ , отнесенную к числу изделий, работоспособных в момент времени  $t$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  изменяет свое значение в периоды приработки и старения машин.

**Средняя наработка на отказ  $T_{cp}$**  является математическим ожиданием наработки объекта до первого отказа. По статистическим данным определяется из выражения

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i, \quad (3.4)$$

где  $N$  – общее число образцов, находящихся на испытании;  $t_i$  – время безотказной работы  $i$  – го образца.

**Гамма-процентная наработка до отказа** – наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Пример.** На испытании находилось  $N = 100$  единиц техники. Данные их испытаний приведены в табл. 3.1.

Вычислить показатели надежности: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , частоту отказов  $f(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , ср. время безотказной работы  $T_{ср}$ .

Решение:

1. Определим вероятность безотказной работы  $P(t)$ .

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}.$$

Таблица 3.1

**Данные испытаний**

Параметр	Интервал, ч							
	0 ... 100	100 ... 200	200 ... 300	300 ... 400	400 ... 500	500 ... 600	600 ... 700	700 ... 800
Промежуток времени $\Delta t$	100	100	100	100	100	100	100	100
Число отказавших машин $n(t)$	1	2	1	3	2	2	1	3

2. Предположим, что отказы происходили в середине временных интервалов, т. е.  $t = 50, 150, 250$  и т. д. В первом интервале времени произошел 1 отказ ( $n(t)=1$ ); во втором – 2, а всего с начала отсчета – 3; в третьем – 1, а всего с начала отсчета – 4 и т.д.

$$P(50) = (100 - 1)/100 = 0,99 \quad P(150) = (100 - 3)/100 = 0,97.$$

$$P(250) = (100 - 4)/100 = 0,96 \text{ и т.д.}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Результаты расчетов**

$P(t)$	0,99	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	0,88	0,85
$f(t) \cdot 10^4, \text{ ч}^{-1}$	1	2	1	3	2	2	1	3
$\lambda(t) \cdot 10^4, \text{ ч}^{-1}$	1,01	2,03	1,04	3,17	2,20	2,22	1,12	3,47

3. Определим частоту отказов  $f(t)$ .

$$f(t) = \frac{n}{N \cdot \Delta t}.$$

$$f(50) = 1/100 \cdot 100 = 1 \cdot 10^{-4} \quad f(150) = 2/100 \cdot 100 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

$$f(250) = 1/100 \cdot 100 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} \text{ и т. д.}$$

Результаты вычислений приведены в табл. 3.2.

В данном случае число отказов на промежутке  $\Delta t$  не суммируется с числами отказов на предшествующих участках, т. к. функция  $f(t)$  является точечной.

Определим интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{n}{N_{cp}(t) \cdot \Delta t}.$$

На первом участке произошел 1 отказ ( $n = 1$ ), при этом в начале участка число исправных машин  $N(0) = 100$ , а в конце участка  $N(100) = N(0) - 1 = 99$ .

$$N_{cp} = (N(0) + N(100)) / 2 = (100 + 99) / 2 = 100.$$

$$\lambda(50) = 1 / (100 + 99) / 2 \cdot 100 = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

На втором участке произошли 2 отказа ( $n = 2$ ), при этом в начале участка число исправных машин  $N(100) = 99$ , а в конце участка  $N(200) = N(100) - 2 = 97$ .

$$N_{cp} = (N(100) + N(200)) / 2 = (99 + 97) / 2 = 100.$$

$$\lambda(150) = 2 / (99 + 97) / 2 \cdot 100 = 2,03 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} \text{ и т. д.}$$

Результаты вычислений приведены в табл. 3.2.

Определим среднее время безотказной работы  $T_{cp}$ :

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i.$$

В данном случае число отказавших машин  $n = 15$ .

$$t_i = n(t) \cdot t_{cp},$$

где  $t_{cp}$  – время середины временного интервала.

$$t(50) = 1 \cdot 50;$$

$$t(150) = 2 \cdot 150;$$

$$t(250) = 1 \cdot 250;$$

$$t(350) = 3 \cdot 350 \text{ и т. д.}$$

Просуммировав все значения  $t_i$  и разделив на 15, получим  $T_{cp} = 427$  ч.

**Пример.** На 5 автомобилях в течение года наблюдалось следующее количество отказов: 1, 3, 2, 2, 1. При этом наработка (пробег) автомобилей за данный период составила соответственно 18 000, 20 000, 21 000, 25 000, 16 000 км. Определить среднее время безотказной работы за год.

*Решение:* число отказавших автомобилей  $n = 1+3+2+2+1=9$ .  
 $T_{cp} = 1/9(18\ 000 + 20\ 000 + 21\ 000 + 25\ 000 + 16\ 000) = 11\ 111$  км.

**Пример.** В начальный момент наблюдения все 4 колеса машины были работоспособны. Через 10 тыс. км одна покрышка износилась без возможности ее восстановления. Определить интенсивность отказов колес.

*Решение:*

$n = 4 - 3 = 1$  – число отказов за период (через 10 тыс. км).

Количество работоспособных объектов в момент времени  $t$

$N_{cp} = 4$ .

$\Delta t = 10$  (тыс. км).

$\lambda(t) = 1 / 4 \cdot 10 = 0,025$  отказов/тыс. км.

### 3.2. Критерии надежности восстанавливаемых систем

**Средняя наработка на отказ  $T_{cp}$**  определяется отношением суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

**Среднее время восстановления** определяется отношением среднего суммарного времени восстановления к среднему числу восстановлений при длительной работе объекта.

**Параметр потока отказов  $\omega(t)$**  – отношение математического ожидания числа отказов за наработку к значению этой наработки:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N n_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N n_i(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (3.5)$$

где  $n_i(t)$  – число отказов  $i$ -го объекта за наработку;  $\Delta t$  – промежуток времени;  $N$  – число наблюдаемых объектов.

**Пример.** В течение месяца наблюдались 5 машин. В начальный момент времени 1 машина была неработоспособна (отказ). За 200 часов наблюдения были зафиксированы отказы еще 2 машин. Определить параметр потока отказов  $\omega(t)$ .

*Решение:*

$N = 5$  – число наблюдаемых объектов.

$\Delta t$  – промежуток времени = 200 ч.

$\sum_{i=1}^N t_i = 1$ .

$\sum_{i=1}^N n_i(t + \Delta t) = 1 + 2 = 3$ .

$$\omega(t) = (3-1) / 5 \cdot 200 = 0,002 \text{ маш} / \text{ч.}$$

### 3.3. Показатели надежности

К основным показателям *долговечности* относятся гамма-процентный ресурс, гамма-процентный срок службы, средний ресурс и средний срок службы.

**Гамма-процентный ресурс  $T_{\gamma}$**  – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Например, если  $\gamma = 80\%$ , то рассматриваемый ресурс машины до предельного состояния называется 80-процентным ресурсом. При назначенном 80-процентном ресурсе двигателей в 200 000 ч. ( $T_{80} = 200\ 000$  ч) 80% двигателей должны иметь наработку до предельного состояния не менее 200 000 часов.

**Гамма-процентный срок службы  $\tau_{\gamma}$**  – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Средний ресурс** – математическое ожидание ресурса, т.е. средняя величина наработки или срока службы до предельного состояния.

**Средний срок службы** – математическое ожидание срока службы.

При использовании показателей долговечности следует указывать начало отсчета и вид действий после наступления предельного состояния. Например, гамма-процентный ресурс от второго капремонта до списания. Показатели долговечности, отсчитываемые от ввода объекта в эксплуатацию и до окончательного снятия его с эксплуатации, называются гамма-процентный полный ресурс (срок службы), средний полный ресурс (срок службы).

Показатели *сохраняемости* характеризуют свойство объекта сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах в процессе длительного хранения и транспортирования.

К ним относятся **гамма-процентный срок сохраняемости** и **средний срок сохраняемости**, определяемые аналогично показателям долговечности.

Показатели *ремонтпригодности* перечислены ниже.

**Вероятность восстановления** – вероятность того, что фактическое время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного значения, регламентированного нормативными документами.

Данная величина характеризует приспособленность машины к проведению текущего ремонта.

**Гамма-процентное время восстановления** – время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Среднее время восстановления** – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа. Данный показатель характеризует продолжительность вынужденного простоя объекта, необходимого для поиска и устранения одного отказа.

**Интенсивность восстановления** – условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

**Средняя трудоемкость восстановления** – математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

Каждый из описанных ранее показателей позволяет оценить только одно свойство надежности изделия. Для предварительной качественной оценки надежности используют комплексные показатели, позволяющие одновременно оценить несколько свойств изделия. Наиболее часто применяемыми на практике комплексными показателями надежности являются следующие.

**Коэффициент готовности  $K_2$**  характеризует вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта не предусматривается. Коэффициент готовности не учитывает затрат времени на проведение планового технического обслуживания и ремонта

$$K_G = \frac{T}{T + T_B}, \quad (3.6)$$

где  $T$  – средняя наработка на отказ;  $T_B$  – среднее время восстановления.

**Пример.** За период наблюдения машина отказала 2 раза. Первая наработка на отказ составила 1000 ч, вторая – 1600 ч. Первый ремонт длился 4 ч, второй – 6 ч. Определить коэффициент готовности  $K_2$ .

*Решение:*

$$T = (1000 + 1600) / 2 = 1300 \text{ ч.}$$

$$T_g = (4 + 6) / 2 = 5 \text{ ч.}$$

$$K_c = 1300 / (1300 + 5) = 0,996.$$

**Коэффициент оперативной готовности** – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного промежутка времени.

**Коэффициент технического использования  $K_{ми}$**  – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период

$$K_{ми} = \frac{T_c}{T_c + T_{мо} + T_p}, \quad (3.6)$$

где  $T_c$  – суммарная наработка изделия, ч;  $T_{мо}$  и  $T_p$  – соответственно продолжительности простоев машины при техническом обслуживании и ремонте, ч. Коэффициент технического использования учитывает простой машины как в неплановых, так и в плановых ТО и ремонтах.

**Пример.** За период наблюдения экскаватор отказал 2 раза. Первая наработка на отказ составила 1000 ч, вторая – 1600 ч. Первый ремонт длился 4 ч, второй – 6 ч. Определить коэффициент технического использования, если продолжительность простоев машины в ТО и ремонтах за тот же период составила 50 ч.

*Решение:*

$$T_c = 1000 + 1600 = 2600 \text{ ч.}$$

$$T_{мо} + T_p = 4 + 6 + 50 = 60 \text{ ч.}$$

$$K_{ми} = 2600 / (2600 + 60) = 0,977.$$

### **3.4. Методика обоснования качественных характеристик машин, формирующих приоритеты их выбора (на примере одноковшовых гусеничных экскаваторов)**

При экскавации грунта землеройная машина совершает полезную работу и работу, затрачиваемую на преодоление сил сопротивле-

ния. Эффективность работы дорожно-строительной машины зависит от множества факторов: как от внешних (среда взаимодействия), так и от внутренних (техническое состояние силового и рабочего оборудования). Перечень технических параметров машины регламентирован ГОСТ 30067 – 93 «Экскаваторы одноковшовые универсальные полноповоротные. Общие технические условия», а их нормативные значения указываются заводом - изготовителем. Именно от технических характеристик зависят технологичность процесса и надежность работы комплекта машин. Однако повышение надежности машин за счет ее характеристик ужесточает требования к техническому состоянию и в большинстве случаев приводит к удорожанию стоимости данной размерной группы машин. Но, как известно, не всегда высокая цена гарантирует высокое качество техники, особенно в ритме жесткой конкуренции импорта. В данном случае потребитель стоит перед выбором приоритетных характеристик техники, соответствующих качественным показателям и требуемой функциональности.

В связи с этим важной задачей инженеров и маркетологов является разработка единой методики обоснования качественных характеристик одноковшовых гусеничных экскаваторов, формирующих приоритеты их выбора. К комплексным показателям эффективной работы можно отнести производительность экскаватора (техническая, эксплуатационная и теоретическая), но этого недостаточно для полного представления технических возможностей экскаватора. Для решения данной задачи необходимо пересмотреть классическую методику оценки технологичности и функциональности с учетом критериев «материалоемкость» и «энергоёмкость», что даст возможность владеть полной информацией. Материалоёмкость и энергоёмкость входят в состав номенклатуры показателей качества наряду с теоретической производительностью по ГОСТ 4.377 – 85, которые определяются отношением удельной массы экскаватора к технической производительности и мощности двигателя экскаватора к технической производительности. На основании данных, полученных с технических паспортов гусеничных одноковшовых экскаваторов, были произведены расчеты эксплуатационных характеристик. Основные результаты расчета сведены в прил. 1. По этим данным были построены гистограммы (рис. 3.1 – 3.4).

По показателю «техническая производительность» можно увидеть следующую тенденцию: модели «ЭО112М.01» ОАО «ЧТЗ-Уралтрак», «Hyundai R 300LC-9S» и «JCB JS 460» стали лидирующими. По показателю

«эксплуатационная производительность» также лидирующими стали модели «ЭО112М.01» ОАО «ЧТЗ-Уралтрак», «Hyundai R 300LC-9S» и «JCB JS460». Лидирующие позиции в основном импортной техники подтверждает спад производства экскаваторов в РФ, а также крепкую позицию ОАО «ЧТЗ-Уралтрак» на рынке экскаваторов, о чем и свидетельствовали статистические данные российской статистики. Марки Hidromek «HMK 300LC», «Hyundai R 300LC-9S» и «JCB JS460» стали лидирующими по показателю «материалоемкость».

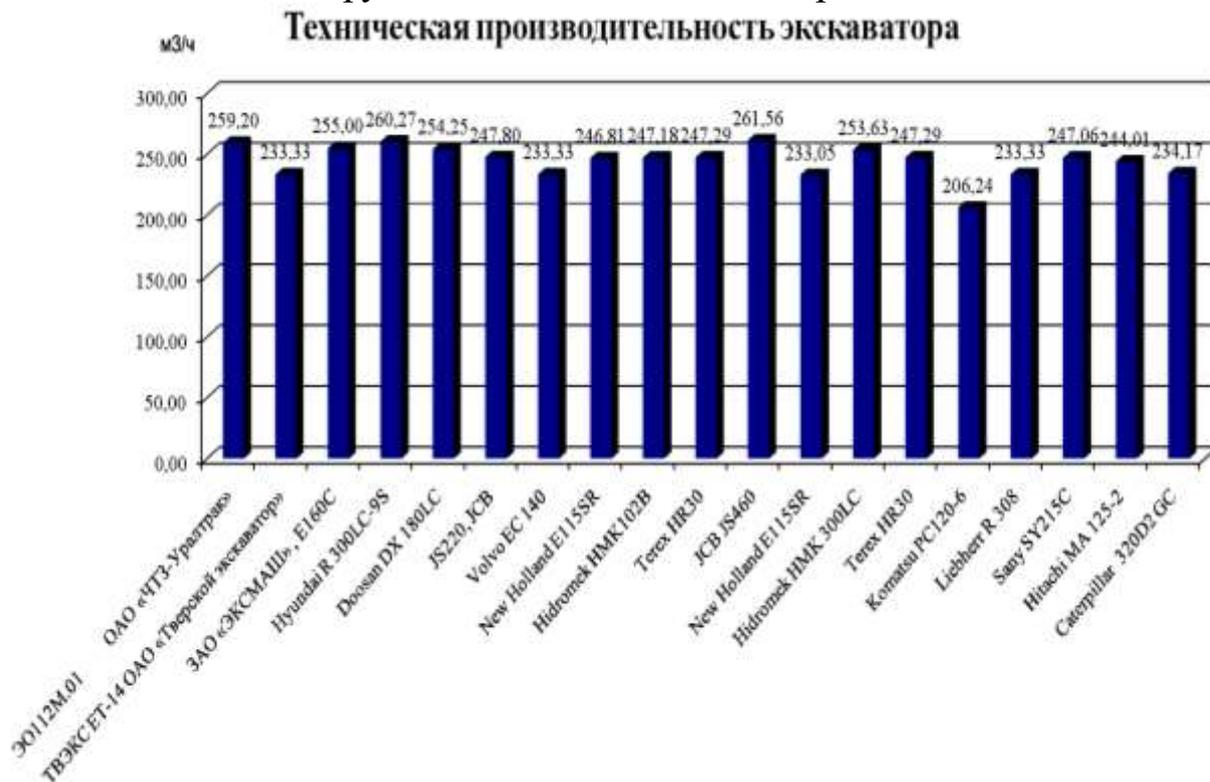


Рис. 3.1. Распределение значений технической производительности экскаватора в зависимости от модели

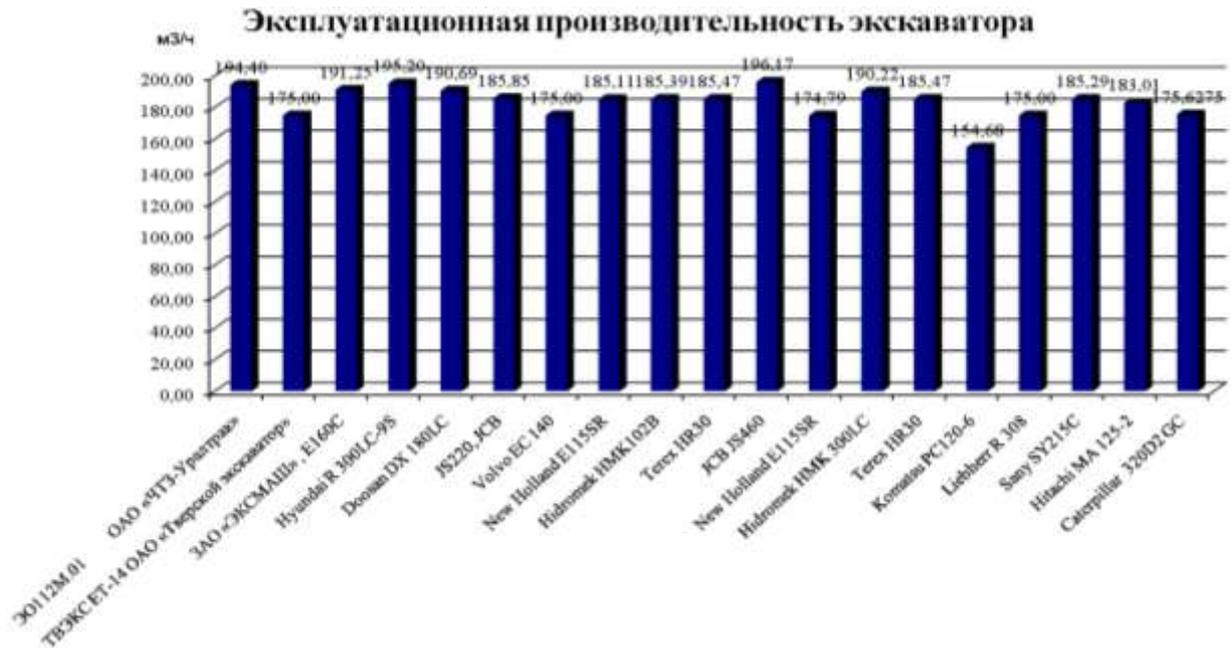


Рис. 3.2. Распределение значений эксплуатационной производительности экскаватора в зависимости от модели

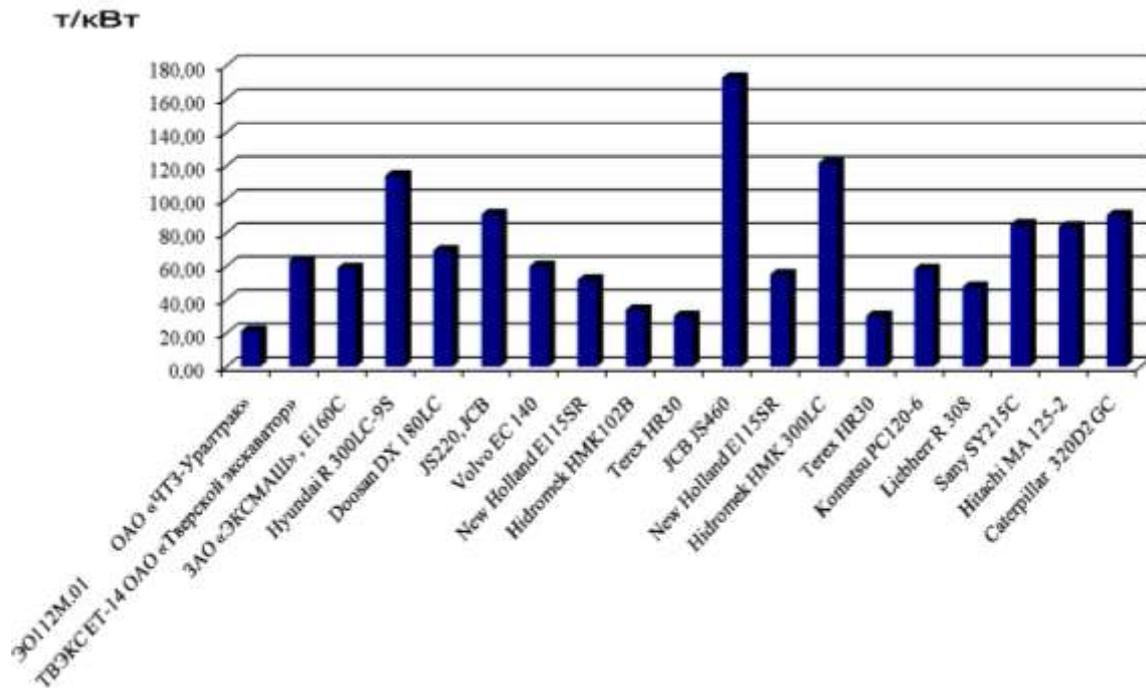


Рис. 3.3. Распределение значений материалоемкости экскаватора в зависимости от модели

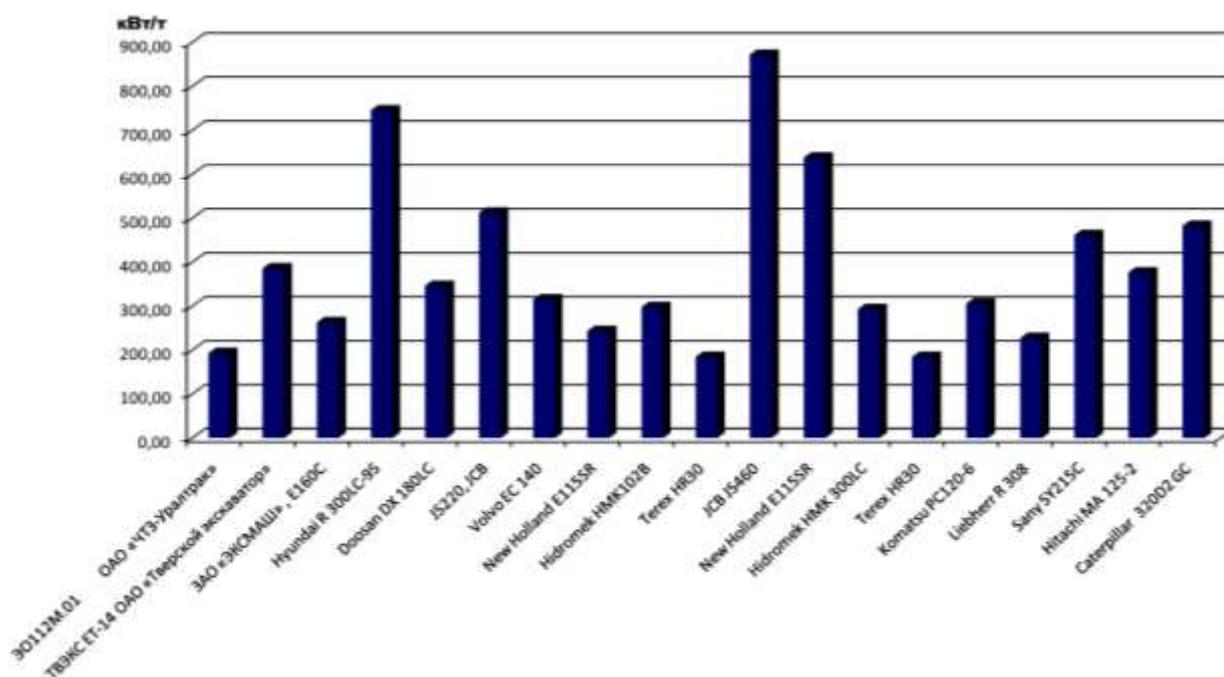


Рис. 3.4. Распределение значений энергоёмкости экскаватора в зависимости от модели

Материалоемкость является одним из главных принципов размещения и рационализации производства в современной рыночной экономике, что и учитывают зарубежные производители экскаваторов еще на стадии проектирования. Российские же производители базируются на старых индустриальных принципах производства объектов. Данная тенденция будет учитываться при анализе качества одноковшовых гусеничных экскаваторов с применением технологии «Quality Function Deployment» [структурирование (развертывание) функции качества «QFD»]. «Hyundai R 300LC-9S», JCB «JS460» и «New Holland E115SR» стали лидирующими по показателю «энергоёмкость». Эти данные будут учитываться при проведении анализа качества одноковшовых гусеничных экскаваторов с применением технологии «QFD».

Таким образом, по результатам, полученным со статистической процедурой оценки по показателю «эксплуатационная производительность», гусеничный одноковшовый экскаватор «JCB JS460» занимает лидирующие позиции. Согласно данным исследовательской компании «ID-Marketing», этот экскаватор пользуется спросом на российском рынке дорожно-строительной техники. Далее экскаватор «JCB JS460» подвергнется «QFD» – анализу путем сравнения с лиди-

рующими экскаваторами по показателям «энергоемкость», «материалоемкость», ранжированием показателей качества по требованию покупателей. Структурирование функций качества позволяет увязать в единое целое учет требований потребителя и реализацию стратегии организации в процессе планирования и проектирования.

Следующий шаг предложенной методики оценки параметров – анализ качества одноковшовых гусеничных экскаваторов с применением технологии «QFD».

Система маркетинговой информации – постоянно действующая система взаимосвязи людей, оборудования и методических приемов, предназначенная для сбора, классификации, анализа, оценки и распространения актуальной, своевременной и точной информации для использования ее распорядителями сферы маркетинга с целью совершенствования планирования, претворения в жизнь и контроля за исполнением маркетинговых мероприятий.

Для исследования спроса на экскаваторы на строительном рынке были использованы вторичные и первичные источники информации. Был проведен письменный опрос в форме анкетирования потенциальных покупателей экскаваторов – строительных фирм. Особенностью опроса в форме анкетирования является то, что в результате обработки ответов можно получить количественную характеристику изучаемого явления, выявить и смоделировать причинно-следственные связи.

Цель анкетирования – сбор и анализ первичной информации, а именно получение количественной характеристики изучаемой проблемы и определение причинно-следственных связей. Генеральной совокупностью по данной проблеме будут являться строительные фирмы, представленные на рынке. Для выборочного исследования будут отобраны фирмы, которые заинтересованы в решении покупки или аренды экскаваторов. Также фирмы будут отбираться случайным образом. Это будет использовано для того, чтобы получить информацию о том, известна ли компаниям данная проблема и как они к ней относятся. Следовательно, выборка будет смещенной. Путем электронного анкетирования были получены количественные характеристики изучаемого вопроса. Все компании, принявшие участие в опросе, оказывают широкий спектр строительных услуг: строительство зданий, дорожного полотна различных уровней значения, обустройство прилегающей и дворовой территории, работы с коммуникациями. Всего в опросе приняло участие 23 компании.

По результатам собранной первичной информации можно сделать следующие выводы:

1) 60% опрошенных строительных фирм считают целесообразным приобретение в ближайшее время экскаватора, 16% – нецелесообразным, 24% опрошенных фирм затруднились ответить на данный вопрос (рис. 3.5);

2) 2% опрошенных строительных фирм предпочли бы купить экскаватор весом до 1 т, 10% – до 10 т, 20% – до 15 т, 60% – до 20 т и 8% – до 30 т. Отсюда можно сделать вывод, что наибольшим спросом будут пользоваться экскаваторы весом до 15 и 20 т, их предпочтут купить 80% опрошенных фирм (рис. 3.6);

3) 24% респондентов готовы заплатить за экскаватор не более 5 млн руб., 40% – 10 – 15 млн руб., 28% – 15 – 25 млн руб. и только 8% готовы купить экскаватор в пределах 25 – 35 млн руб. (рис. 3.7);

4) 44% опрошенных строительных компаний ранее никогда не приобретали экскаваторов, 16% приобретали их за рубежом, 36% – в Российской Федерации, 4% – в Евросоюзе (рис. 3.8);

5) 76% респондентов предпочитают в качестве рекламы специализированные выставки, 16% – сеть Интернет и лишь 8% – газеты, журналы и почтовую рассылку. Таким образом, наиболее эффективным для развития и расширения рынка дорожно-строительной техники будет участие в выставках и размещение рекламы в сети Интернет;

6) 40 % опрошенных компаний находятся на строительном рынке 3 – 5 лет, 38 % – 5 – 10 лет, 14 % – свыше 10 лет, 8 % – 1 – 3 года. Компаний же, находящихся на рынке менее одного года, не оказалось совсем. Следовательно, основные покупатели экскаваторов – это сильные, стабильные, давно находящиеся на строительном рынке фирмы (рис. 3.9).

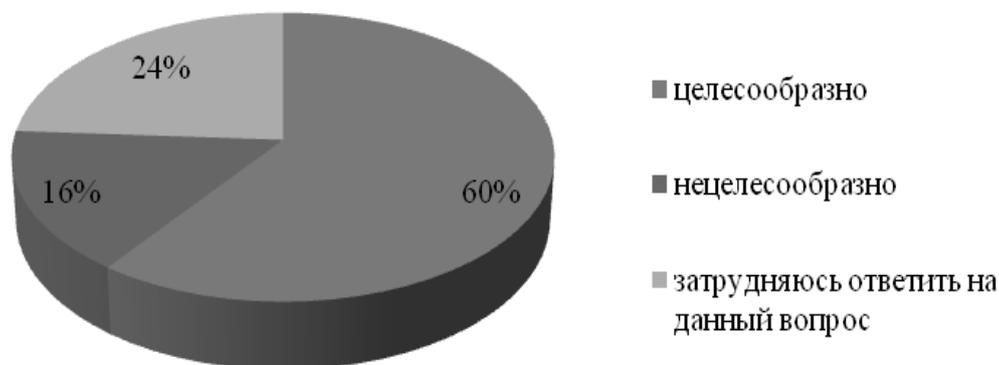


Рис. 3.5. Сегментная диаграмма целесообразности приобретения экскаватора

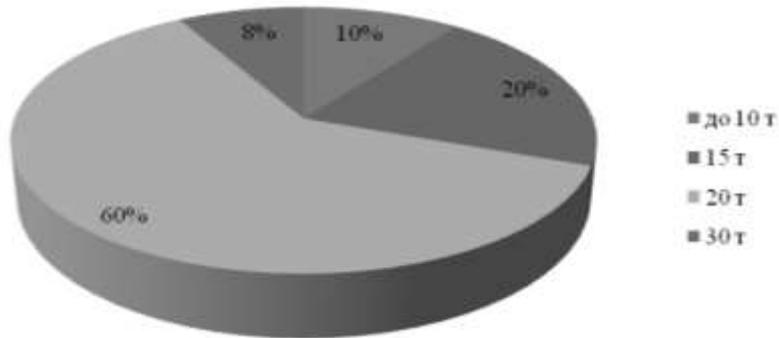


Рис. 3.6. Сегментная диаграмма востребованности типа экскаваторов

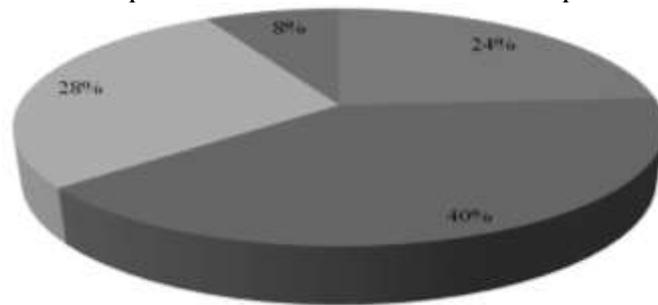


Рис. 3.7. Сегментная диаграмма предпочитаемой стоимости экскаватора:  
 24 % – стоимость экскаватора до 1 200 000 руб.;  
 40% – от 2 000 000 до 3 000 000 руб.;  
 28% – от 3 000 000 до 4 000 000 руб.;  
 8% – от 4 000 000 до 7 000 000 руб.

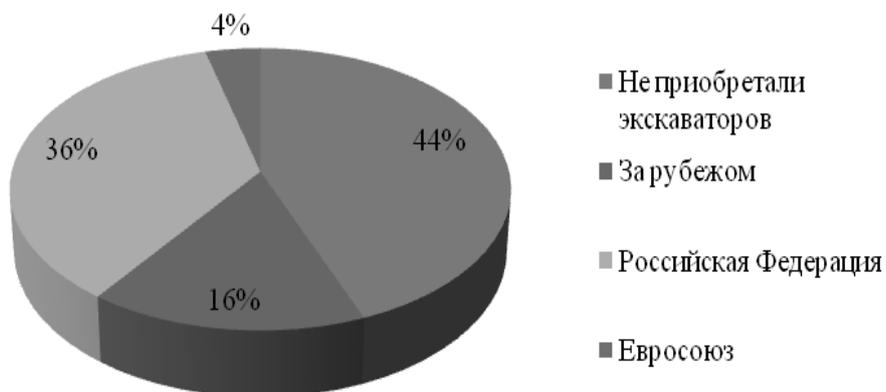


Рис. 3.8. Сегментная диаграмма оценки приобретения экскаватора

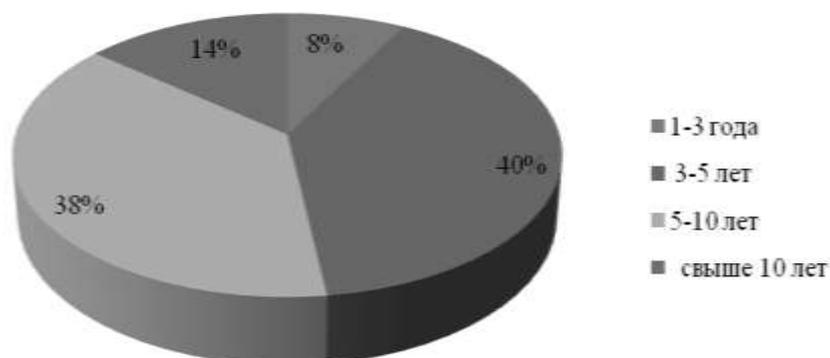


Рис. 3.9. Сегментная диаграмма «срок пребывания компаний на рынке»

Полученные данные необходимо обработать, структурировать и проанализировать. Для этого применим один из инструментов «QFD». Сущность его заключается в последовательном заполнении серии логически связанных таблиц и специальных бинарных матриц. В результате формируется тщательно разработанная, формализованная процедура идентификации требований потребителя и последующего их перевода в технические характеристики будущей продукции.

Использование инструмента «QFD» в предложенной методике позволит:

- наиболее эффективным способом идентифицировать ожидания покупателей, выделять среди них ключевые (с точки зрения достижения успеха организации) требования и воплощать их в продукцию, оптимизируя технические характеристики проекта по степени удовлетворенности покупателей;

- обеспечить гарантии того, что покупатели примут и воспользуются новой (модернизируемой старой) продукцией еще до того, как она будет произведена и поставлена на рынок;

- повысить эффективность производства, в частности снизить затраты на разработку качественной конкурентной продукции;

- ориентировать все стадии производственного процесса, начиная от разработки, на удовлетворение клиентов;

- обеспечить большую рыночную долю благодаря более раннему появлению на рынке продукции с более высоким уровнем качества;

– более четко определить процессы самой организации, нуждающиеся к тому же в меньшей переделке, начиная с того времени, как продукция будет запущена в производство;

– оптимально распределять, а значит, наиболее эффективно использовать ограниченные ресурсы организации для обеспечения как тактических, так и стратегических целей;

– повысить деловую культуру и улучшить управление во всех звеньях производства.

На основании полученных анкетных данных был сформирован исходный массив поначалу необработанной и плохо организованной вербальной информации, которая в дальнейшем была обработана.

Процесс расстановки приоритетов будем осуществлять следующим образом. Совокупность требований, предъявляемых потребителем к продукции, внутренне противоречива. Поэтому все они при проектировании новой продукции (модернизации старой) не могут быть удовлетворены в равной степени.

Отсюда возникает необходимость выбора требований. Определить, что именно важно для воплощения в проекте новой продукции, должен потребитель, потому что только он знает, что именно хочет и до какой степени. Если за расстановку приоритетов возьмутся сами разработчики экскаваторов, в результате будет создано то, что легко и удобно произвести исходя из текущей обстановки на предприятии, но никому не нужно.

Итак, на этом этапе необходимо проранжировать требования клиентов в зависимости от важности. Для этого составляются пары сравнений требований к продукции. Далее фиксируются средние значения ответов респондентов в корреляционной матрице парных сравнений требований (прил. 2), на пересечении требований в прил. 2 ставятся значения в зависимости от ответов респондентов. За основу взята следующая методика: при пяти вариантах оценки требований между собой каждому из них присваиваются баллы в зависимости от степени важности: 9, 5, 1, 1/5, 1/9. Самое важное требование получает 9 баллов, наименее важное – 1/9 балла. Эти цифры постоянны и определены методикой для разных вариантов оценки. При этом если при сравнении утверждений 1 и 2 первое получает 5 баллов, то второе – 1/5. Десятичные представления количественных оценок  $D_{ij}$  заносятся в прил. 3. Суммируется содержимое каждого из получившихся столб-

цов  $N$ , и значение суммы  $\sum_{i=1}^N D_{ij}$ . Их значения заносятся в итоговую строку таблицы.

Нормализованные столбцы количественных оценок  $F_{ij}$  (прил. 4) представляют собой ту же самую матрицу, что и  $D_{ij}$ , но содержащую в каждой из ячеек пересчитанную из условия нормирования количественную оценку

$$F_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{i=1}^N D_{ij}}. \quad (3.7)$$

Их значения и заносятся в соответствующий столбец прил. 4.

Суммы каждой из полученных строк пронормированных количественных оценок рассчитываются из зависимости

$$G_i = \sum_{i=1}^N F_{ij}. \quad (3.8)$$

Результаты расчета заносятся в соответствующий столбец прил. 4. Далее находится сумма содержимого каждой из ячеек столбца. Хотя результат известен заранее (исходя из способа построения таблицы  $\sum_{i=1}^N G_i = N$ ), это действие все же проводится для проверки правильности проделанных вычислений.

Искомый столбец приоритетов требований покупателей  $P_i$  получается из сумм соответствующих строк путем их нормирования:

$$P_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^N G_i} = \frac{G_i}{N}. \quad (3.9)$$

Заполняется таблица приоритетов требований клиентов к одноковшовым гусеничным экскаваторам (табл. 3.3). Требования покупателей в итоге проранжированы (порядковый номер в таблице можно рассматривать как ранг) и подготовлены для дальнейшего анализа.

Таблица 3.3

**Приоритеты требований клиентов к экскаваторам**

Номер п/п	Требование	Приоритет, %
1	Стоимость экскаватора	17,60
2	Долговечность	16,80
3	Безотказность	14,60
4	Энергоемкость	13,20
5	Производительность	9,1
6	Размер ковша	8,4
7	Материалоемкость	7,8
8	Глубина копания	6,4
9	Уровень звука и вибрации	3,7
10	Габаритные размеры	2,5

Как результат аналитических исследований рассмотрим силу корреляционной взаимосвязи в виде графической визуализации «Дом качества» для одноковшовых гусеничных экскаваторов.

**Этап 1.** «Левая пристройка» «Дома качества» заполняется выявленными и проранжированными требованиями потребителей к одноковшовым гусеничным экскаваторам.

**Этап 2.** Формируется определенным образом набор технических характеристик проекта изделий и заполняется им «потолок» «Дома качества». Исследованиями в сочетании с практикой установлен перечень показателей, которыми характеризуются экскаваторы. Для построения «Дома качества» необходимо определить связь между характеристиками качества на основании изложенной информации. Это можно наглядно увидеть при увеличении характеристик, когда происходит снижение значений других, и наоборот. Для определения связи между характеристиками используют следующую корреляционную зависимость (табл. 3.4).

**Этап 3.** На данном этапе предстоит выбор, но уже не требований покупателей, а тех самых технических характеристик продукции, которые отвечают за выполнение этих требований. И если приоритизировать запросы рынка должен был сам покупатель, то ранжировать характеристики качества с точки зрения удовлетворения предпочтений клиентов следует «QFD»-команде. Теперь никакой субъективизм

недопустим и решения должны приниматься на строгой логической основе, исходя из всей совокупности специальных знаний и опыта.

Таблица 3.4

**Принимаемая оценочная шкала силы корреляционной взаимосвязи**

Интервальная оценочная категория	Обозначение	Значения коэффициентов корреляции
Сильная положительная корреляция	 , ⊕	0,9
Положительная корреляция	 , ⊕	0,3
Отсутствие корреляция	 , ⊖	0

Для поставленной задачи ранжирования характеристик вполне достаточно использовать оценочную шкалу силы корреляционной зависимости, указанную в табл. 3.5.

Таблица 3.5

**Обозначение конкурентной позиции**

Интервальная оценочная категория	Обозначение
Преобладает JCB «JS460»	
На равном уровне с JCB «JS460»	
Уступает JCB «JS460»	

Далее определяется абсолютное значение характеристики качества как произведение приоритетного значения требований клиентов на принимаемое значение коэффициента корреляции между требованием и характеристикой качества. Так, абсолютное значение  $W_i$  характеристики качества составляет сумму аналогичных значений по столбцу для конкретной характеристики качества. Относительное значение вычисляется по формуле

$$W_i^{отн} = \frac{|W_i|}{\sum_{i=1}^N |W_i|} 100\%. \quad (3.10)$$

Абсолютные и относительные значения показателей качества одноковшовых гусеничных экскаваторов по ГОСТ 4.377 – 85 «Система показателей качества продукции. Экскаваторы одноковшовые. Номенклатура показателей» приведены в табл. 3.6.

**Этап 4.** Теперь предстоит обратиться к самой правой «комнате», куда необходимо занести результаты сопоставления в отношении выполнения требований клиентов с некоторыми из основных конкурентов. Такая работа называется потребительским бенчмаркингом и должна проводиться в организации постоянно, т. е. существовать и вне «QFD»-проекта [67].

Таблица 3.6

**Абсолютные и относительные значения показателей  
качества одноковшовых гусеничных экскаваторов**

Значение показателей, ранг	Длина стрелы, м	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Теоретическая производительность, м <sup>3</sup> /ч	Установочный ресурс до первого капитального ремонта, годы	Расчетная продолжительность цикла, с	Скорость передвижения, км/ч	Наибольший радиус копания, м	Удельная трудоемкость изготовления	Мощность сетевых двигателей и трансформатора, кВт	Удельная масса, т
Абсолютное Значение	3,6	4,5	5,1	3,6	5,4	3,6	4,5	5,1	6	4,8
Относительное Значение	7,79	9,74	11,04	7,79	11,69	7,79	9,74	1,04	12,99	10,39
Ранг	6	5	3	6	2	6	5	3	1	4

Сложившуюся ситуацию для «JCB JS460» и его конкурентов на рассматриваемом рынке в отношении выполнения конкретной совокупности требований можно увидеть по обозначениям в «Доме качества», что свидетельствует о том, что при сравнении с конкурентами «JCB JS460» по многим показателям превосходит своих конкурентов. Важную роль здесь играет и то, что утверждения требований покупателей расположены в соответствии со своим рангом, а значит, чем выше расположена строка, содержащая обозначение балла требования, тем в большей степени значимо оно для клиентов.

Завершающим этапом исследования является построение «Дома качества» (рис. 3.12). Итогом построения «Дома качества» для гусеничных одноковшовых экскаваторов JCB «JS460» является процедура оценки конкурентоспособности данной продукции. Полученная матрица позволяет оценить возможности JCB «JS460» и его ближайших конкурентов по удовлетворению пожеланий покупателей.

**Этап 5.** Анализ «Дома качества», построенного для использования при разработке экскаваторов и их модернизации в процессе производства. «Дом качества» содержит в себе массу информации, которую нужно обработать и использовать рекомендации в целях улучшения качества выпускаемых изделий, а значит, и повышения удовлетворенности клиентов. Были определены основные требования клиентов, предъявляемых к гусеничным одноковшовым экскаваторам. Теперь можно увидеть расположение этих требований в порядке убывания по значимости. В результате исследований было выявлено, что первой по рангу характеристикой качества является стоимость экскаватора (относительное значение 17,60%). Это можно объяснить тем, что действительно для потенциальных покупателей экскаваторов стоимость является наиболее необходимой информацией, от которой зависит дальнейший интерес клиентов.

Второе место по значимости (относительное значение 16,80%) занимает долговечность. Значимость вызвана тем, что долговечность является свойством экскаватора длительно сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при определенных условиях эксплуатации.

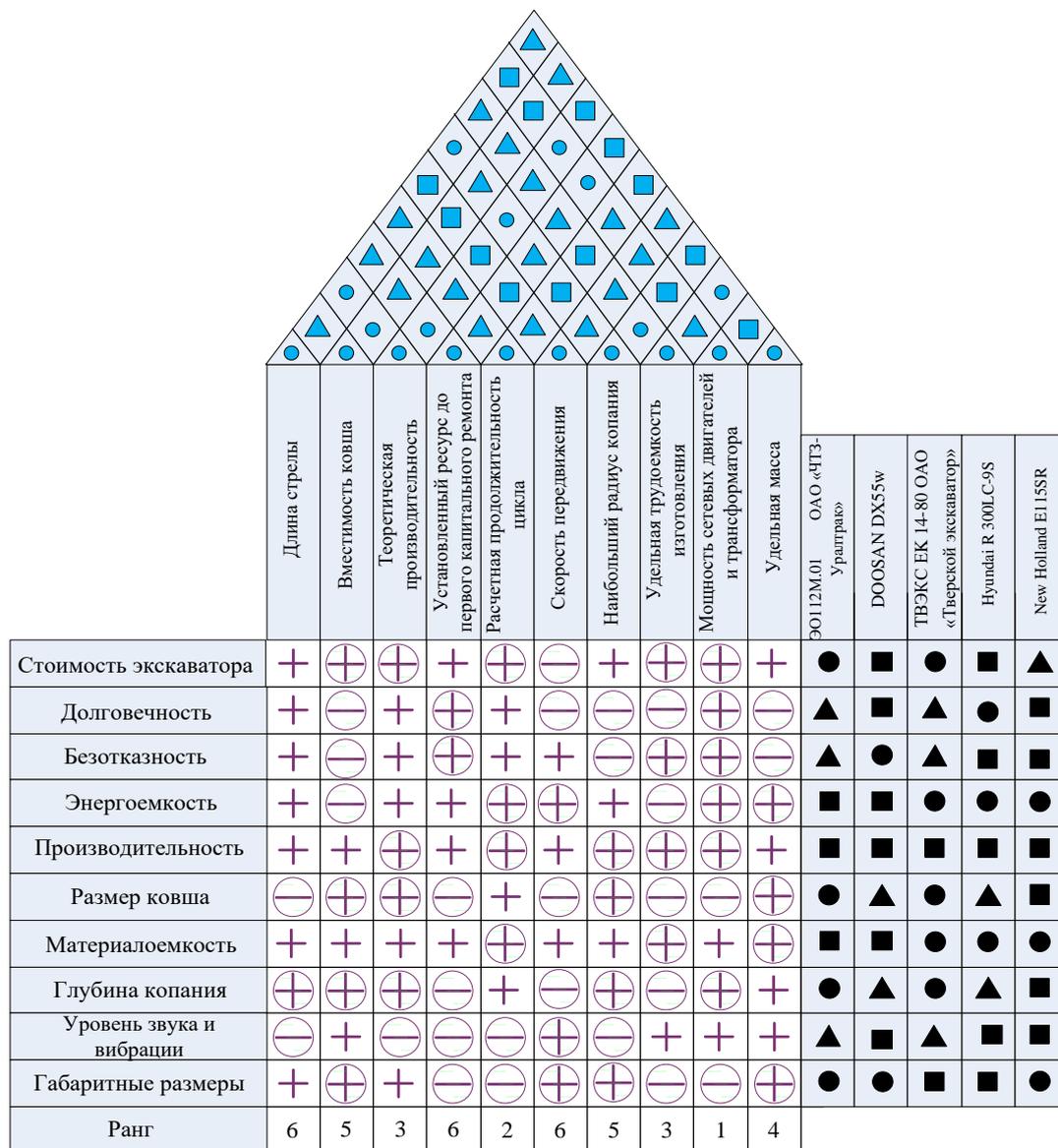


Рис. 3.10. Разработанная структура «Дома качества»

Следующей по значимости характеристикой изделия является безотказность. Относительное значение – 14,60%. Этот показатель можно отнести к наиболее важным, так как безотказность является свойством изделия сохранять работоспособность в течение определённого времени в заданных условиях эксплуатации. Безотказность в той или иной степени свойственна объекту в любом из возможных режимов его существования. В основном безотказность рассматривается применительно к его использованию по назначению, но во многих случаях необходима оценка безотказности при хранении и транспортировании объекта. Необходимо подчеркнуть, что показатели безотказности вводятся либо по отношению ко всем возможным отказам

объекта, либо по отношению к какому-либо одному типу (типам) отказа с указанием на критерии отказа (отказов). Это характеризует значимость показателя для потенциальных покупателей.

Показатель «энергоемкость» занял четвертую позицию по результатам электронного опроса. Это свидетельствует о том, что данный показатель является значимым для потенциальных покупателей экскаваторов, так как при эксплуатации должна учитываться величина потребления энергии и топлива на основные и вспомогательные технологические процессы выполнения работ на базе заданной технологической системы.

Следующую позицию заняла производительность с относительным значением 9,1 %. При подготовительных работах к проведению электронного опроса прогнозировалось, что показатель производительности займет первые ряды как наиболее важный для покупателя. Но после обработки результатов показатель занял только пятую позицию, хотя производительность характеризует объем грунта, выкопанного в течение 1 ч работы.

Позиции 6 и 8 заняли размер ковша и глубина копания (относительные значения 8,4%; 6,4%). Они являются основными показателями, которые указываются в технической документации.

Показатель «материалоемкость» разместился на седьмой позиции (относительное значение 7,8%), так как он важен не для покупателей, а для производителей экскаваторов, потому что является показателем расхода материалов на производство экскаватора.

Менее важными показателями оказались «уровень шума и вибрации» и «габаритные размеры» при сопоставлении с показателями, указанными выше (относительные значения 3,7 и 2,5%), так как покупатели склоняются к выбору цены и качества.

Структурирование функций качества позволяет увязать в единое целое учет требований покупателей и реализацию стратегии организации в процессе планирования. Другими словами, если использовать метод «QFD», то можно быть уверенным в том, что голос клиента будет слышен в течение всего процесса разработки экскаватора. В этом методе отражен общий подход к анализу соответствия между поставленными целями и средствами их достижения. Структурирование функций качества – мощное средство для создания стратегий совершенствования. Эти стратегии позволят учесть весь спектр функциональных требований заинтересованных сторон. Схема в виде «Дома качества» позволяет визуализировать потенциальные кон-

фликты между различными методами совершенствования предприятия.

Проводя такие исследования, инженер-проектировщик, с одной стороны, и производитель – с другой совершенно неожиданно для самих себя узнают, что они не всегда следуют ожиданиям клиентов своей продукции.

### **3.5. Методы получения уровня качества продукции**

**Уровень качества продукции** – относительная характеристика её качества, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей. Базовым значением показателя является оптимальный уровень, реально достижимый на некоторый период времени.

Согласно ГОСТ 15467– 79, оценка уровня качества продукции – это совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми.

*Этапы и цели оценки качества продукции:*

А. На стадии разработки продукции (оценка проектировочного качества):

- 1) установление класса и группы продукции;
- 2) выбор и обоснование номенклатуры показателей качества;
- 3) выбор базового образца;
- 4) выбор метода определения показателя качества;
- 5) определение численных значений показателей.

Б. На стадии производства продукции (оценка качества изготовления):

- 1) установление методов и средств контроля качества;
- 2) выбор метода определения показателя качества;
- 3) определение фактических значений показателей;
- 4) оценка уровня качества изготовления по показателям дефектности.

В. На стадии эксплуатации (оценка качества в эксплуатации):

- 1) установление способа получения информации о качестве;
- 2) определение фактических показателей качества;
- 3) определение полезного эффекта и суммарных затрат;
- 4) оценка рекламаций;
- 5) получение результатов оценки и принятие решений.

Для оценки уровня качества вся промышленная продукция разделена на два класса. Первый класс (продукция, расходуемая при использовании):

- 1) сырье, топливно-природные ископаемые и т.п.;
- 2) материалы и продукты (лесоматериалы, масла и смазки, химические продукты и др.);
- 3) расходные изделия (жидкое топливо в емкостях, баллоны с газами, кабели в катушках и т.п.).

Второй класс (продукция, расходующая свой ресурс):

- 1) неремонтируемые изделия (полупроводниковые приборы, подшипники, шестерни и т.п.);
- 2) ремонтируемые изделия (технологическое оборудование, измерительные приборы, транспортные средства и т.п.).

Номенклатуру показателей качества продукции устанавливают с учётом назначения и условий её применения, требований потребителей.

Методы определения значений показателей качества продукции:

1. По способам получения информации:

а) измерительный метод – основан на информации, получаемой от технических измерительных средств;

б) регистрационный – используется информация, получаемая путем подсчёта (регистрации) числа определенных событий (например, регистрация количества отказов изделия при испытаниях);

в) органолептический – используется информация, получаемая в результате анализа восприятия органов чувств: зрения, слуха, вкуса и т.п. Точность и достоверность результатов зависят от квалификации лиц, выполняющих эту работу, а также от специальных технических средств (микроскопы, микрофоны и т.п.). Этот метод наиболее широко применяется при оценке качества предметов потребления, в том числе продуктов питания (напитки, кондитерские, табачные и парфюмерные изделия);

г) расчётный основан на использовании теоретических или эмпирических зависимостей показателей качества продукции от её параметров. Применяют при проектировании продукции, когда ещё отсутствует опытный образец.

2. По источникам получения информации:

а) традиционный – показатели качества определяются работниками экспериментальных лабораторий, конструкторских отделов и

т.д. Информация о показателях формируется в процессе испытаний продукции, условия проведения которых должны быть приближены к эксплуатационным;

б) экспертный – показатели качества определяются на основе решения специалистов-экспертов;

в) социологический – основан на мнении фактических или возможных потребителей продукции. Сбор информации осуществляется в ходе устного опроса или с помощью распространения анкет, а также путем организации конференций, выставок, аукционов и т.п.

Для оценки уровня качества продукции применяют следующие методы.

1. Дифференциальный метод предусматривает определение единичных показателей и их сравнение с базовыми величинами.

Уровень качества продукции считается ниже базового, если хотя бы один из относительных показателей хуже базового.

2. Комплексный метод основан на применении обобщенного показателя качества продукции, который представляет собой функцию от единичных (комплексных) показателей. Обобщенный показатель может быть выражен тремя типами показателей:

а) главный показатель устанавливают при наличии необходимой информации (например, для автобусов - производительность в пассажиро-километрах);

б) интегральный (обобщенный) показатель используется тогда, когда можно установить суммарный полезный эффект от эксплуатации продукции;

в) средние взвешенные показатели применяют, если нельзя установить функциональную зависимость главного показателя от исходных показателей качества.

3. Смешанный метод основан на одновременном использовании единичных и комплексных (обобщенных) показателей оценки качества продукции.

Для оценки качества нескольких видов разнородной продукции используются индекс качества и индекс дефектности. Индексы качества и дефектности являются универсальными показателями, которыми можно оценить качество продукции предприятия в целом и проанализировать его изменения за ряд лет.

### *Контрольные вопросы и задания*

1. Чем обосновано применение показателей надежности для оценки качества машин?
2. Сформулируйте определение «комплексный показатель эффективной работы».
3. Какие существуют эксплуатационные характеристики машин?
4. В чем заключается отличие абсолютных и относительных значений показателей качества?
5. Сформулируйте требования, предъявляемые к качеству продукции.
6. Перечислите основные этапы графической визуализации «Дом качества» для одноковшовых гусеничных экскаваторов.