
ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

МОДЕЛЬ КАЧЕСТВА РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

**И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент;
С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен пример расчета обобщенного показателя качества по степени выполнения важнейших требований, предъявляемых к образцу пожарной техники.

Ключевые слова: обобщенный показатель качества, коэффициенты корреляции, показатели

QUALITY PRODUCT DEVELOPMENT OF FIRE EQUIPMENT

I.L. Skrypnik; S.V. Voronin.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Presents an example calculation of the generalized indicator of quality according to the degree of implementation of the most important requirements for the sample of fire equipment.

Keywords: generalized index of quality, correlation coefficients, indicators

В настоящее время известные из области квалиметрии методы расчета обобщенного показателя качества (ОПК) изделий основываются на использовании системы единичных и комплексных показателей, под которыми понимают частные технические параметры и, соответственно, их средневзвешенные оценки по группе характеристических свойств изделия. Недостатком данного подхода является то, что для расчета ОПК используется большое количество параметров, многие из которых являются второстепенными для описания свойств изделий. Кроме того, при комплексной оценке качества возникают значительные погрешности, которые выражаются в том, что развитая номенклатура менее существенных параметров «скрывает» более существенные, что в конечном итоге влечет за собой сокрытие отдельных крупных недостатков разрабатываемого изделия [1]. Например, разработчикам выгодно завышать коэффициенты весомости тем показателям, которые реализуются лучше, и наоборот уменьшать те, которые требуют больших затрат и сложных проработок. Следует отметить, что неопределенность в назначении коэффициентов весомостей и выборе вида средневзвешенной оценки, в зависимости от условий и целей ее проведения при использовании комплексных методов, выливается в самостоятельную проблему, обычно решаемую эвристически.

С целью устранения подобных негативов предлагаются ОПК рассчитывать по степени выполнения важнейших требований, предъявляемых к образцу пожарной техники. Это значит, что все множество показателей $X=\{x_k\}$, $k=\overline{1,b}$, $b=n+m$ целесообразно разделить на множество существенных показателей $X=\{x_i\}$, $i=\overline{1,n}$, носящих условно-пропорциональный характер, при котором изменение единичного показателя качества (ЕПК) (x_i) от начального до заданного значения существенно влияет на эффективность (Θ) использования изделия по назначению, то есть:

$$\frac{d\Theta}{dx_i} = \begin{cases} \gg 0, & \text{при } x_i \geq x_i^* \\ \leq 0, & \text{при } x_i < x_i^* \end{cases}$$

где x_i^* – минимальное (максимальное) значение i показателя, установленное в тактико-техническом задании (ТТЗ), и множество несущественных показателей $X=\{x_j\}$, $j=\overline{1,m}$, носящих условно-альтернативный характер, при котором изменение ЕПК (x_j) от начального до заданного значения несущественно влияет на эффективность использования изделия по назначению, то есть:

$$\frac{d\Theta}{dx_j} \approx 1=0 \text{ при } x_j \geq x_j^* \text{ (} x_j < x_j^* \text{)}.$$

К показателям условно-пропорциональной группы следует относить существенные показатели, определяющие эффективность и экономичность пожарной техники, например, показатели назначения. Очевидно, что максимальное улучшение этих показателей в разрабатываемом изделии в результате принятия оптимальных конструкторских решений и внедрения достижений научно-технического прогресса должно являться непосредственной задачей разработчиков и находить свое отражение в ОПК разрабатываемого изделия, а также соответствующим образом стимулироваться заказчиком.

Условно-альтернативный характер показателей может определяться предельными значениями внешних воздействующих факторов, при которых изделие должно устойчиво функционировать. Так если в ТТЗ предусмотрено требование к работоспособности изделия в температурном интервале от -40 до $+60^\circ\text{C}$, то расширение этого диапазона не приведет к существенному повышению эффективности изделия, поскольку в реальных условиях предусмотрена работа изделия с достаточно высокой степенью вероятности только в пределах этого интервала. Аналогичные рассуждения можно привести применительно к большинству эргономических показателей, требований по транспортабельности и т.д. К альтернативным показателям, безусловно, относятся все показатели, устанавливаемые в ТТЗ в виде качественных требований.

Проведенный анализ специальной литературы показывает, что в настоящее время явной зависимости между эффективностью разрабатываемого образца пожарной техники и изменением его показателей нет. Поэтому для разбиения исходного множества показателей $X=\{x_k\}$ на вышеуказанные подмножества необходимо выбрать некоторый критерий.

Для определения критерия разбиения исходного множества показателей изделия следует использовать методы:

- экспертного опроса;
- анализа функций изделия;
- корреляционно-регрессионного анализа.

Анализ перечисленных методов [2, 3] показал, что первые два обладают рядом недостатков, к которым следует отнести:

- большую трудоемкость и существенные временные затраты;
- наличие субъективизма, присущего самой процедуре экспертного опроса и анализа функций изделия, а также вследствие привлечения большого числа специалистов в данной предметной области;
- низкую степень достоверности получаемых результатов.

Поэтому наиболее целесообразно проводить разбиение исходного множества показателей на основе методов корреляционно-регрессионного анализа. В этом случае в качестве критерия разбиения целесообразно использовать коэффициент выборочной корреляции «затраты-показатель» (r_{yx}), который характеризует степень влияния каждого показателя изделия x_k на стоимость изделия, и чем выше значение r_{yx} , тем существеннее данный k показатель. Значимость того или иного показателя x_k может быть определена на основе ряда требований, так как это показано в табл. 1. Проверка на соответствие показателя первым трем требованиям осуществляется в процессе анализа положения ГОСТ, нормативных документов системы общих технических требований (ОТТ) к изделиям пожарной техники и ретроспективных данных о показателях рассматриваемой группы образцов. Для проверки на соответствие выбранного показателя x_k требованиям 4, 5 предлагается следующая последовательность действий.

Таблица 1. Требования к существенным показателям образцов пожарной техники

№ n/n	Требования	Существенные показатели
1	Должны быть показателями назначения (техническими показателями)	+
2	Должны отражать существенную классификацию образцов пожарной техники	+
3	Должны сохранять стабильность во времени	+
4	Должны оказывать наибольшее, по сравнению с другими, влияние на стоимостные показатели изделий	+
5	Должны быть независимыми от других основных показателей	+

Фрагмент исходных данных о тактико-технических характеристиках (ТТХ) изделий пожарной техники – приборов приемно-контрольных пожарных (ППКП), рассматриваемой группы показателей, включая и стоимостные характеристики, могут быть представлены, как показано в табл. 2.

Таблица 2. Значение показателей образцов ППКП

№ п/п	Наименование параметров	Единицы измерения	Условные номера и типы ППКП					
			№ 1	№ 2	•	•	•	№ (n)
1	Стоимость	тыс. руб.						
2	Напряжение питания	В						
•								
•								
•								
•								
m	Количество шлейфов сигнализации	единиц						

По данным табл. 2 рассчитываются коэффициенты выборочной корреляции «стоимость-показатель»:

$$r_{yxk} = \frac{\overline{y \cdot x_k} - \overline{y} \cdot \overline{x_k}}{S_y \cdot S_{x_k}}$$

Здесь:

$$\overline{yx_k} = \frac{\sum_{h=1}^d y_h \cdot x_{hk}}{d},$$

$$\overline{y} = \frac{\sum_{h=1}^d y_h}{d}, \quad \overline{x_k} = \frac{\sum_{h=1}^d x_{hk}}{d},$$

$$S_y = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^d (y_h - \overline{y})^2}}{d-1}, \quad S_{x_k} = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^d (x_{hk} - \overline{x_k})^2}}{d-1},$$

где h – индекс образца в выборке; d – число образцов в выборке; k – индекс показателя в выборке ($k=1,2,\dots,b$); b – количество показателей ($b=n+m$); n – количество существенных показателей; m – количество несущественных показателей.

Результатом расчета являются коэффициенты выборочной корреляции r_{yxk} .

Статистическая достоверность коэффициентов корреляции, рассчитанная по малым выборкам, проверяется с помощью z-коэффициентов Фишера и t-распределения Стьюдента по выражениям:

$$z = 0,5 \cdot \ln \frac{1+|r|}{1-|r|}, \quad t = z \cdot \sqrt{d-3}$$

при числе степеней свободы $\varphi=d-2$.

При этом оценка производится для уровня значимости $\alpha=0,10$ по решающему правилу:

– если $t_{\text{расч.}} > t_{\text{табл.}}$, то исследуемые коэффициенты значимы;

– если $t_{\text{расч.}} < t_{\text{табл.}}$, то гипотеза о значимости исследуемых коэффициентов отвергается.

Расчет и анализ коэффициентов корреляции, характеризующих влияние исследуемых показателей на стоимостный показатель и проверка удовлетворения ими требований 1–3 (табл. 1), дают окончательный ответ на вопрос какие показатели являются существенными.

При этом лицо, принимающее решение (ЛПР), задаваясь порогом по коэффициенту корреляции, само может определить количество существенных показателей. На практике количество таких показателей рекомендуется выбирать равным 6–8. Коэффициенты весомостей существенных показателей при этом определяются как:

$$\alpha_i = \frac{r_{yxi}}{\sum_{i=1}^n r_{yxi}},$$

где n – количество существенных показателей качества.

Коэффициенты несущественных показателей определяются как:

$$\alpha_j = \frac{1}{m}, \quad (1)$$

где m – количество несущественных показателей.

Результатом расчетов являются множество существенных показателей $x^c = \{x_i\}$ ($i=1,2\dots n$) и множество несущественных показателей $x^h = \{x_j\}$ ($j=1,2\dots m$), которые наряду с коэффициентами весомости входят в состав расчета ОПК. В примере расчета все показатели, имеющие коэффициенты корреляции $\gamma_{yx} < 0,5$, считаются несущественными и имеют одинаковые коэффициенты весомости, рассчитываемые по формуле (1).

Так как конкретные показатели образца имеют разную размерность и масштаб измерений, применить их абсолютные значения для оценки ОПК в прямом виде не представляется возможным. В этой связи возникает необходимость приведения всех показателей к единому масштабу измерений путем нормализации.

Таблица 3. Значения существенных и несущественных показателей

№ п/п	Наименование показателя	Коэффициент корреляции γ_{yx}	Коэффициент весомости
<i>Существенные показатели</i>			
1	Напряжение питания	0,63	0,216
2		0,61	0,208
3		0,56	0,191
4		0,59	0,201
5		0,54	0,184
<i>Несущественные показатели</i>			
1		<0,5	0,1
2		<0,5	0,1
3		<0,5	0,1
4		<0,5	0,1
5		<0,5	0,1
6		<0,5	0,1
7		<0,5	0,1
8		<0,5	0,1
9		<0,5	0,1
10		<0,5	0,1

Решение данной задачи позволит произвести расчет ОПК разрабатываемого образца косвенным методом, с применением условных единиц путем сравнения его с показателями некоторого базового изделия.

Удобен наиболее простой известный способ нормализации показателей – дифференциальный. В итоге получается множество нормированных значений существенных показателей:

$$Q^c = \left\{ q_i \mid q_i = \left(\frac{x_i}{x_i^*} \right)^{\gamma} \mid \gamma = \pm 1 \right\},$$

где $\gamma = \pm 1$ – коэффициент, выбираемый в зависимости от того улучшение q_i разрабатываемого образца являются функцией увеличения или уменьшения значения показателей; x_i – значение i существенного показателя разрабатываемого образца; x_i^* – соответствующее значение i показателя базового образца; q_i – нормированное значение i существенного показателя.

Множество нормированных значений несущественных показателей:

$$Q^n = \left\{ q_j \mid q_j = \left(\frac{x_j}{x_j^*} \right)^\gamma \mid \gamma = \pm 1 \right\}.$$

Показатели, носящие условно-пропорциональный характер, должны быть обязательно реализованы в процессе разработки образца, а увеличение их значений по сравнению со значениями заданными в ТТЗ повлечет за собой соответствующее повышение уровня ОПК, отражающего прирост эффективности разрабатываемого изделия. При реализации всех существенных показателей, исходя из условия, что все несущественные показатели выполнены, по отношению к заданным значениям в ТТЗ, ОПК определяется, как среднегеометрическое значение относительных существенных показателей, и может быть рассчитан по формуле:

$$\text{ОПК} = \sum_{i=1}^n (q_i)^{\alpha_i}, \text{ если } q_j \in Q^n \mid q_j \geq 1, j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где q_i – нормированное значение i существенного показателя; α_i – коэффициент весомости i существенного показателя.

Если хотя бы один из существенных показателей не реализован, ОПК рассчитывается по наихудшему показателю с учетом степени выполнения остальных показателей условно-альтернативной группы, то есть:

$$\text{ОПК} = \min_{i \in v} (q_i)^{\alpha_i}, \text{ если } q_j \in Q^n \mid q_j \geq 1, j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где v – количество существенных показателей не удовлетворяющие требованиям ТТЗ (их абсолютные значения меньше значений базового образца, или относительное значение меньше единицы).

В зависимости от того какие значения будут принимать элементы множества несущественных показателей, ОПК либо не будет изменяться, либо будет домножаться на соответствующий сомножитель – $\min_{j \in z} (q_j)^{\alpha_j}$, где z – количество несущественных показателей не удовлетворяющих требованиям ТТЗ. Модель расчета ОПК представлена на рисунке.

Исходные данные:

$X = \{x_k\}$ – множество показателей разрабатываемого образца;

$k = \overline{1, b}$, $b = n + m$;

$X = \{x_k^*\}$ – множество показателей базового образца;

$R = \{r_{yxk}\}$ – множество значений коэффициентов корреляции показателей

и стоимости образцов.

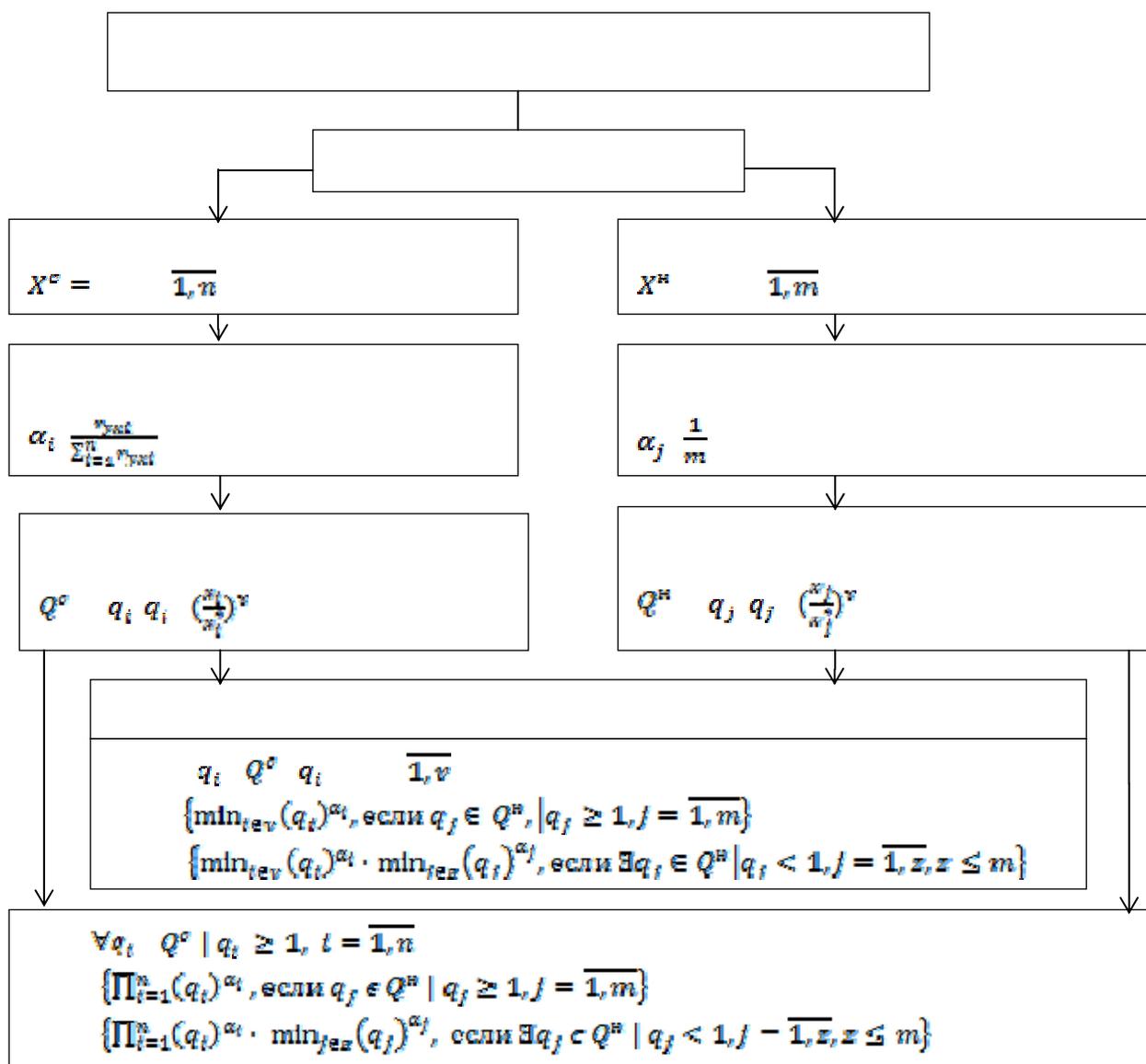


Рис. Модель расчета обобщенного показателя качества разработки

Найти ОПК:

1. Для устранения существующих недостатков при расчете ОПК предложена модель его расчета только по множеству существенных показателей, выделяемых из всего множества показателей, задаваемых в ТТЗ и наиболее полно влияющих на эффективность использования изделия по назначению. Определять существенные показатели целесообразно по критерию коэффициента корреляции «затраты-показатель» на основе статистической информации. При этом нижней границей для оценки статистической значимости получаемых коэффициентов корреляции может быть принято значение доверительной вероятности, равное 0,8. Для получения достоверных значений коэффициентов корреляции объем статической выборки должен включать не менее пяти образцов пожарной техники, что несколько ограничивает возможность предложенного подхода для некоторых типов образцов.

2. Для образцов пожарной техники должен устанавливаться ОПК в виде некоторого количественного значения, определяемого отношением совокупности значений существенных показателей к их базовым значениям. В качестве исходной базы сравнения возможно принять совокупность показателей, устанавливаемых в виде требований в ТТЗ, и на дифференцированном учете влияния на эффективность создаваемого изделия степени

превышения фактически достигнутых значений показателей над заданными в ТТЗ. Правомерность принятия в качестве базы сравнения гипотетического образца, характеризуемого совокупностью требований, установленных в ТТЗ, определяется принятой системой формирования этих требований в соответствии с нормативными документами системы ОТТ, стандартами и нормативами перспективного уровня развития создаваемой техники.

3. Существенные показатели целесообразно задавать в ТТЗ при постановке научно-исследовательских работ и ОКР. Эти показатели необходимо вносить в тематические карточки (заявки заказчика), а также в ТТЗ наряду с остальными показателями.

4. Фактически ОПК должен рассчитываться только по существенным показателям (формулы 2, 3) с учетом выполнения или перевыполнения значений несущественных показателей. При перевыполнении разработчиком существенных показателей, установленных заказчиком, ему следует оценить затраты, повлекшие это перевыполнение, и если они превосходят лимитную цену, необходимо стимулировать принятие прогрессивных решений и внедрение новейших достижений науки и техники, обеспечивающих превышение заданного в ТТЗ уровня отдельных значений показателей, оказывающих наиболее существенное влияние на эффективность разрабатываемых изделий, с отражением в ОПК меры указанных превышений, поощряя разработчика или отдавая ему приоритет в разработке техники на конкурсной основе.

5. В случаях невозможности реализации значений существенных показателей, вследствие ограниченного финансирования, недостаточной научной проработки, невозможности на современном этапе их промышленной реализации, можно допустить их изменение, но только с разрешения органов, утвердивших первичный плановый документ, содержащий эти показатели. При этом ОПК разрабатываемого образца будет несколько хуже ранее планируемого.

Литература

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные подходы повышения эффективности разработок образцов пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 224–226.

2. Классификационные модели и методы принятия решений в системах создания и освоения новой техники. М.: ВНИИ «Электростандарт», 1991. 128 с.

3. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Расчет вероятности возникновения пожара от электрического изделия // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 1 (41). С. 50–59.