

## ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ВОДОПРОВОДНЫХ И ТЕПЛОВЫХ СИСТЕМ

П.И. Пахомов, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент В.Ф. Калинин*

**Ключевые слова и фразы:** автоматизированный выбор; запорная трубопроводная арматура; процедурная модель; теория нечетких множеств.

**Аннотация:** Рассматривается подход, позволяющий в интерактивном режиме выбрать вариант запорной арматуры, исходя из известных потребительско-эксплуатационных показателей и их оценок, выполненных различными группами специалистов-экспертов.

### Введение

Развитие водопроводных и тепловых систем, внедрение энергосберегающих технологий, автоматизация жилищно-коммунального хозяйства дали толчок к расширению номенклатуры разнообразных устройств, предназначенных для управления потоками рабочей среды, транспортируемой по трубопроводам. Насыщение рынка зарубежными и отечественными образцами, большое разнообразие условий, в которых работает арматура, специфичность требований, предъявляемых к ней, вопросы надежности и долговечности, наличие большого количества конструктивных типов усложняют выбор арматуры для конкретных условий эксплуатации в современных системах.

В настоящее время общепринятой является классификация трубопроводной арматуры по следующим параметрам: способу перекрытия потока среды; области применения; материалу корпусных деталей; методу управления; функциональному назначению и т.п.

При проведении ремонтных работ сетей специалистам очень часто приходится решать вопросы, связанные с заменой трубопроводной арма-

---

Пахомов П.И. – соискатель кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования (АПТО)» ТамбГТУ; Немтинов В.А. – доктор технических наук, профессор кафедры АПТО ТамбГТУ; Егоров С.Я. – доктор технических наук, доцент кафедры АПТО ТамбГТУ, г. Тамбов.

туры. Применение того или иного вида арматуры определяется такими факторами: как возможность и необходимость ручного или механического привода, дистанционного или автоматического управления, быстрота срабатывания.

В связи с этим в данной работе рассматривается подход, позволяющий в интерактивном режиме выбрать вариант запорной арматуры, исходя из известных потребительско-эксплуатационных показателей и их оценок, выполненных различными группами специалистов-экспертов.

## 1. Оценка потребительско-эксплуатационных показателей арматуры

Для трубопроводной арматуры, используемой в водопроводных и тепловых сетях, наиболее значимыми показателями являются: герметичность затвора (высокая); гидравлическое сопротивление (низкое); частое срабатывание (открывание – закрывание); дросселирование; равнопроходность арматуры и трубопровода; ремонтпригодность и др. При этом, информация о значениях этих показателей часто носит нечеткий характер так как является результатом экспертных оценок различных групп специалистов: конструкторов, производителей, слесарей-ремонтников и т.п.

Для информационного анализа и обработки такой информации целесообразным является использование математического аппарата экспертных систем в качестве систем поддержки принятия решений.

Пусть  $R = \left( r_m \mid m = \overline{1, M} \right)$  – множество потребительско-эксплуата-

ционных показателей. Для каждого  $m$ -го показателя может быть получена качественная или приближительная количественная информация о его значении. При этом оценка отдельных показателей может быть описана словами, которые в теории нечетких множеств называются термами [1]. В таком случае значением лингвистической переменной, например, показателя «герметичность затвора (высокая)» для конкретного типа запорной арматуры могут быть такие термы: как «применение не рекомендуется», «применение допустимо», «применение рекомендуется», «применение предпочтительно», «требуется применение специальных конструктивных исполнений» и др. Для определения значений лингвистической переменной необходимо определить четкие значения ее термов, позволяющие перейти от лингвистических переменных к их числовым аналогам. В этом случае группа специалистов-экспертов задает вид функции принадлежности, определяющей степень «принадлежности» каждого точного значения к одному из термов лингвистической переменной.

В настоящее время сформировалось понятие о так называемых стандартных функциях принадлежности: Л-, П-, Z-, S-функциях. Для отображения информации, приведенной выше, целесообразно использовать Л- и П-функции, вид которых представлен на рис. 1.

При переходе от нечетких значений величин к вполне определенным необходимы специальные математические методы [1]. Для устранения нечеткости окончательного результата существует несколько методов дефазификации. Наиболее часто используемым является метод центра максимума. Рассмотрим его применительно к нашей задаче. Для тех зна-

чений показателя  $y$ , которые описаны Л-функцией в качестве центра максимума будем использовать величину  $y_{mj}^*$ , а при использовании П-функции –  $y_{mj}^* = (y_{mj}^B + y_{mj}^H)/2$  (см. рис. 1). Взвешенное значение  $y_m$  для  $m$ -го показателя определим по формуле

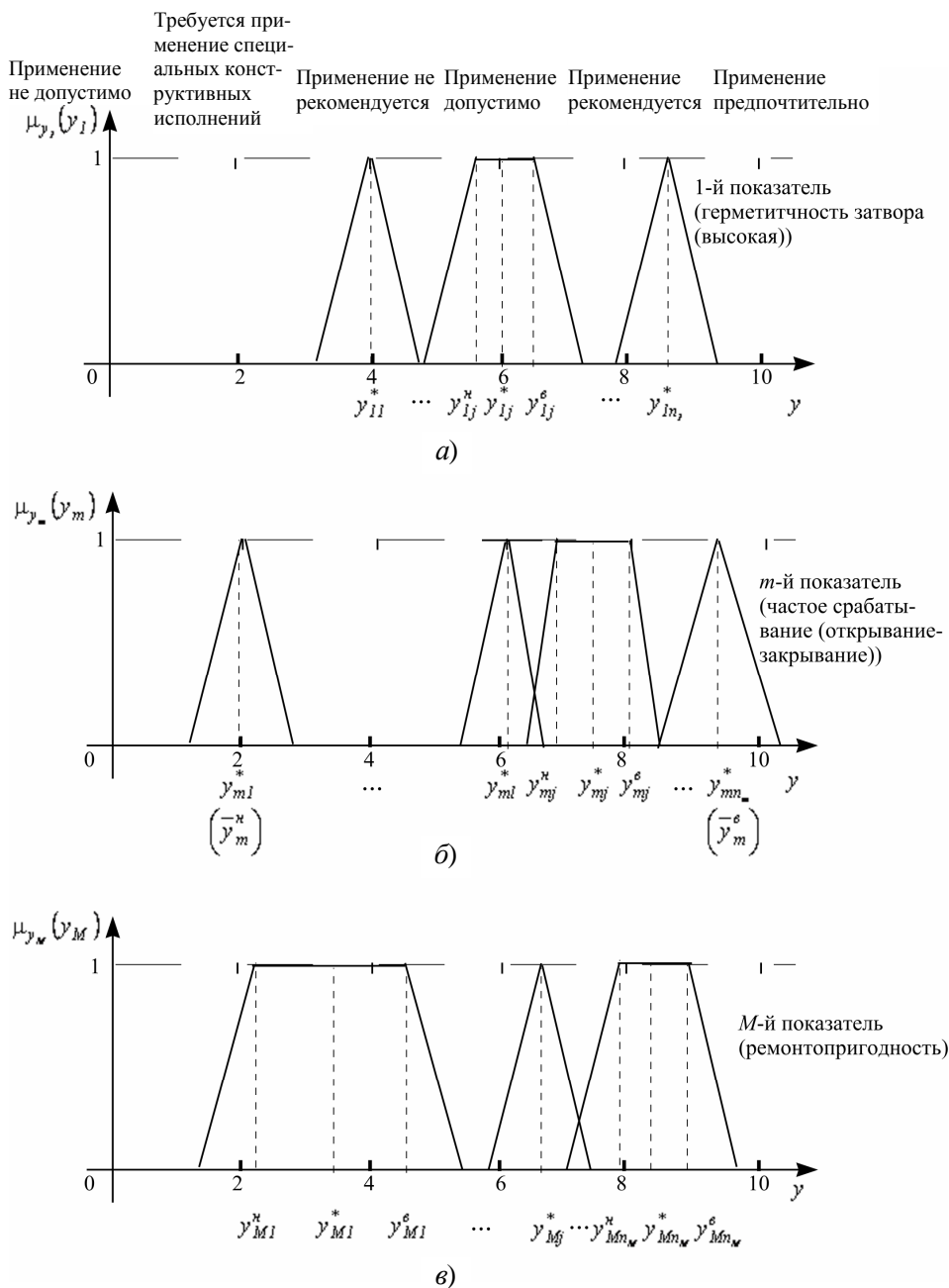


Рис. 1. Дефазификация нечеткой информации при оценке потребительско-эксплуатационных показателей различных типов арматуры

$$y_m = \frac{\sum_{j=1}^{n_m} \rho_{mj} y_{mj}^*}{\sum_{j=1}^{n_m} \rho_{mj}}, \quad (1)$$

где  $\rho_{mj}$  – коэффициент значимости информации  $j$ -й группы специалистов для  $m$ -го показателя. Примем:

$$\rho_{mj} = 1 - \text{при использовании Л-функции,}$$

$$\rho_{mj} = \frac{y_{mj}^B - y_{mj}^H}{\bar{y}_m^B - \bar{y}_m^H} - \text{для П-функции,} \quad (2)$$

где  $\bar{y}_m^B, \bar{y}_m^H$  – соответственно нижняя и верхняя границы диапазона возможного изменения показателя  $y_m$  (см. рис. 1, б).

## 2. Процедурная модель выбора арматуры

В связи с большим разнообразием выпускаемых промышленностью типов промышленной трубопроводной арматуры [2], характеризующихся одинаковыми основными параметрами, возникает необходимость выбора такой арматуры, которая бы отвечала множеству требований  $R$  конкретного потребителя.

Авторами предлагается процедурная модель автоматизированного выбора трубопроводной арматуры, характеризующейся наилучшими заданными потребительскими показателями для каждого конкретного случая.

На первом этапе выбора для заданных условного прохода  $D_y^{\text{zad}}$  и условного давления  $P_y^{\text{zad}}$  формируется подмножество допустимых типов арматуры, выпускаемых промышленностью  $T^{\text{dop}} \subset T$ , где  $T$  – множество всех типов промышленной трубопроводной арматуры. Формирование  $T^{\text{dop}}$  осуществляется с использованием базы данных типов арматуры, созданной в соответствии с принятой классификацией.

На следующем этапе автоматизированного выбора арматуры среди подмножества типов  $T^{\text{dop}}$  необходимо выбрать такой тип, который бы удовлетворял выбранному потребителем подмножеству потребительских требований (показателей)  $R^{\text{zad}} \subset R$ .

Вследствие значительного количества критериев оценки (более 20), которые могут быть использованы потребителем при выборе арматуры, авторами предложена следующая схема выбора. При этом решается задача, математическая постановка которой формулируется следующим образом – для заданного функционального назначения, основных потребительских параметров  $D_y^{\text{zad}}, P_y^{\text{zad}}$  и выбранных потребительско-эксплуатационных показателей  $R^{\text{zad}} \subset R$  найти такой тип арматуры, для которого справедливо следующее равенство

$$t_{\text{opt}} = \arg \min_{t \in T^{\text{dop}}} F(t), \quad (3)$$

при условии, что с позиций выбранных эксплуатационных показателей применение  $t$ -го типа арматуры возможно:

$$y_m(t) \neq 0, \quad m \in R^{\text{zad}}, \quad t \in T^{\text{dop}}, \quad (4)$$

где  $y_m(t)$  – количественная оценка  $m$ -го показателя для  $t$ -го типа арматуры.

В такой постановке рассматриваемая задача относится к классу многокритериальных задач. Критерий оптимальности  $F(t)$  представим в виде суммы взвешенных относительных потерь критериев: стоимости арматуры с учетом привода и некоторого подмножества потребительских показателей  $R^{\text{zad}} \subset R$ , задаваемого лицом, принимающим решение (ЛПР), и выберем соответствующие методы нормализации множества критериев и их ранжирования [3–5]. В этом случае критерий  $F$  можно записать как

$$F(t) = \sum_{i=1}^{R^{\text{zad}}} \rho_i \omega_i(t), \quad (5)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \dots, \rho_{R^{\text{zad}}}$  – весовые коэффициенты,

$$\rho = \{\rho_i\} = \{\rho_i : \rho_i > 0, \quad i = 1, \dots, R^{\text{zad}}, \quad \sum_{i=1}^{R^{\text{zad}}} \rho_i = 1\}; \quad (6)$$

$\rho_i \omega_i(t)$  – взвешенные потери по  $i$ -му критерию;  $\omega_i(t) = \omega_i(F_i(t))$ ,  $i = 1, \dots, R^{\text{zad}}$ ,  $t \in T^{\text{dop}}$  – монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели  $F_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, R^{\text{zad}}$ ,  $t \in T^{\text{dop}}$  к безразмерному виду;  $F_1(t)$  – экономический критерий, включающий в себя стоимость арматуры с учетом привода;  $F_i(t)$ ,  $i = 2, R^{\text{zad}}$  – оценка потребительско-эксплуатационных показателей. Причем для функции цели  $F_1(t)$  находится минимум, а для остальных – максимум.

$$\omega_1(t) = \frac{F_1(t) - F_{10}}{F_{1(\max)} - F_{10}}, \quad t \in T^{\text{dop}}, \quad \omega_i(t) = \frac{F_{i0} - F_i(t)}{F_{i0} - F_{i(\min)}}, \quad t \in T^{\text{dop}}, \quad i = 2, R^{\text{zad}}, \quad (7)$$

где  $F_{1(\max)}$  – наибольшее значение минимизируемой функции  $F_1(t)$ ,  $t \in T^{\text{dop}}$  на множестве допустимых альтернатив  $T^{\text{dop}}$ ;  $F_{i(\min)}$ ,  $i = 2, R^{\text{zad}}$  – наименьшее значение максимизируемых функций  $F_i(t)$ ,  $t \in T^{\text{dop}}$ , на множестве допустимых альтернатив  $T^{\text{dop}}$ ;  $F_{i0}$ ,  $i = 1, R^{\text{zad}}$  – оптимальные значения функций цели. Значения  $\omega_i(t)$ ,  $i = 1, R^{\text{zad}}$ ,  $t \in T^{\text{dop}}$ , лежат в пределах от 0 до 1.

Как и при решении других многокритериальных задач в данном случае необходимо найти такую компромиссную альтернативу  $t \in T^{\text{доп}}$ , которая может не являться оптимальной ни для одной функции цели  $F_i(t)$ , но оказывается приемлемой для интегрального критерия  $F(t)$ . Компромиссное решение в классическом варианте предполагает равенство минимально возможных взвешенных потерь  $\rho_i \omega_i(t) = k_{0(\min)}$ ,  $i = 1, R^{\text{зад}}$ . Так как в данной работе при поиске оптимального решения используется метод полного перебора, то достижение равенства взвешенных потерь  $\rho_i \omega_i(t)$  является необязательным.

Для выбора компромиссного решения в задаче принятия сложного решения зададим весовые коэффициенты  $\rho_i$ ,  $i = 1, R^{\text{зад}}$ , удовлетворяющие соотношению (6) и отражающие относительную важность всех функций цели. Наиболее эффективными подходами к определению этого предпочтения являются методы ранжирования и приписывания баллов (последний применен в данной работе) [4].

Процедура решения задачи (3) – (7) сводится к формированию множества типов арматуры заданного функционального назначения, отвечающих основным потребительским параметрам  $D_y^{\text{зад}}$ ,  $P_y^{\text{зад}}$  и выбранным ЛПП эксплуатационным показателям  $R^{\text{зад}} \subset R$ , для которых выполняется условие (4). Далее, используя метод полного перебора, выбирается такой тип  $t_{\text{опт}}$ , для которого величина критерия  $F(t)$  имеет минимальное значение.

### 3. Практическая реализация процедурной модели

Предложенная процедурная модель автоматизированного выбора трубопроводной запорной арматуры реализована в виде комплекса программ, написанных в среде системы программирования Visual Basic с использованием СУБД MS Access.

Количественная оценка потребительско-эксплуатационных показателей арматуры получена в ходе обработки разнообразной качественной и количественной информации в соответствии с подходом, описанным в п. 1. В табл. 1 приведен фрагмент базы данных количественных оценок потребительско-эксплуатационных показателей для отдельных типов запорной арматуры.

Проиллюстрируем реализацию процедурной модели автоматизированного выбора запорной арматуры на следующем примере. При ремонте водопроводной сети потребовалась замена трубопроводной запорной арматуры на трубопровод следующих параметров  $D_y^{\text{зад}} = 200$  мм и  $P_y^{\text{зад}} = 6$  кгс/см<sup>2</sup>. При выборе следует учитывать потребительские показатели: высокую герметичность затвора, низкое гидравлическое сопротивление, небольшое приводное усилие и невысокую цену изделия. Для каж-

дого из используемых критериев: стоимость, высокая герметичность затвора, низкое гидравлическое сопротивление, небольшое приводное усилие заданы равные веса  $\rho_i = 0,25$ ,  $i = 1, 4$ . В конечном итоге оптимальным с позиций принятых критериев оказалась задвижка клиновья с выдвижным шпинделем фланцевая.

Таблица 1

**Фрагмент базы данных оценок  
потребительско-эксплуатационных показателей типов арматуры**

Наименование показателя	Назначение арматуры	Тип арматуры	Оценка показателя $y_m$
Герметичность затвора (высокая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем шиберные	8,4
		Задвижки с не выдвижным шпинделем шланговые	9,2
		Клапаны запорные сальниковые с наружной резьбой проходные	8,2
		Клапаны обратные поверхностные	3,9
		...	...
...	...	...	...
Масса (небольшая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем клиновые двухдисковые	0
		Задвижки с выдвижным шпинделем шиберные	6,8
		Клапаны запорные бессальниковые диафрагмовые	7,5
		Клапаны обратные безударные	8,9
		...	...
...	...	...	...
Высокое давление	Запорная	Клапаны запорные сальниковые с внутренней резьбой угловые	9,4
		Клапаны запорные сальниковые с внутренней резьбой прямоочные	3,5
		Краны пробковые конические сальниковые с подъемом пробки	0,8
		Краны шаровые проходные	7,5
		Клапаны обратные подъемные	8,2
		...	...
...	...	...	...

### Заключение

Предложенная и реализованная в виде пакета программ процедурная модель автоматизированного выбора трубопроводной запорной арматуры для водопроводных и тепловых сетей позволяет потребителю выбрать оптимальный вариант решения задачи с учетом его различных требований и экспертных оценок потребительско-эксплуатационных показателей арматуры, выполненных разными группами специалистов.

#### *Список литературы*

1. Нечеткие множества и теория возможностей / под ред. Р. Ягера. – М. : Радио и связь. 1986. – 342 с.
2. Арматура-2000. Номенклатурный каталог-справочник по трубопроводной арматуре, выпускаемой в СНГ. – М. : ОАО «МосЦКБА», 2000. – 658 с.
3. Многовариантный типологический подход в задачах обучения и обработки данных. / Фетинина Е.П. [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2000. – № 4. – С. 57–60.
4. Михалеви́ч, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалеви́ч, В.Л. Волкови́ч. – М. : Наука, 1982. – 286 с.
5. Айзерман, М.А. Выбор вариантов. Основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. – М. : Наука, 1990. – 227 с.

---

### **Procedure Model of Pipe Fittings Selection for Water and Heat Supply Networks**

**P.I. Pakhomov, V.A. Nemtinov, S.Ya. Egorov**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** automated selection; stop valves; procedure model; fuzzy sets theory.

**Abstract:** The paper studies the approach enabling to select the stop valve in the interactive mode on the basis of existing consumer and operational indexes and their assessment made by different groups of experts.

---

© П.И. Пахомов, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, 2008