

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИННЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ QFD-МЕТОДОЛОГИИ

Савицкая С.А.

Научный руководитель доктор техн. наук. Петровский Э.А.

Сибирский федеральный университет

Одним из инструментов повышения качества продукции (изделия) является QFD-методология (Quality Function Deployment, или развертывание функции качества). Методология позволяет преобразовать потребности клиентов в инженерные характеристики продукции, помогает сосредоточить внимание и оценить влияние важнейших характеристик рассматриваемого изделия на принимаемые технические решения. В основе QFD лежит построение совокупности матриц, названной «Дом качества».

В качестве исследуемого изделия выбран нефтяной скважинный фильтр, который представляет собой сложную систему, состоящую из взаимодействующих элементов, и предназначен для фильтрации нефти от посторонних включений и попадания в скважину механических примесей при эксплуатации. Машиностроение испытывает потребность в надежных фильтрах, потому что пескопроявление является распространенной причиной ремонтов скважинного оборудования, а, в ряде случаев, и простоем добывающих скважин.

Рассмотрение скважинных фильтров с точки зрения влияния технических характеристик на эксплуатационные показатели возможно с помощью системного анализа; QFD-метод является одним из инструментов, способствующих его проведению.

На основании изученных источников, классификация фильтров позволяет наглядно представить разнообразие возможных исследуемых параметров для QFD-методологии. Классификация скважинных фильтров представлена на рисунке 1.

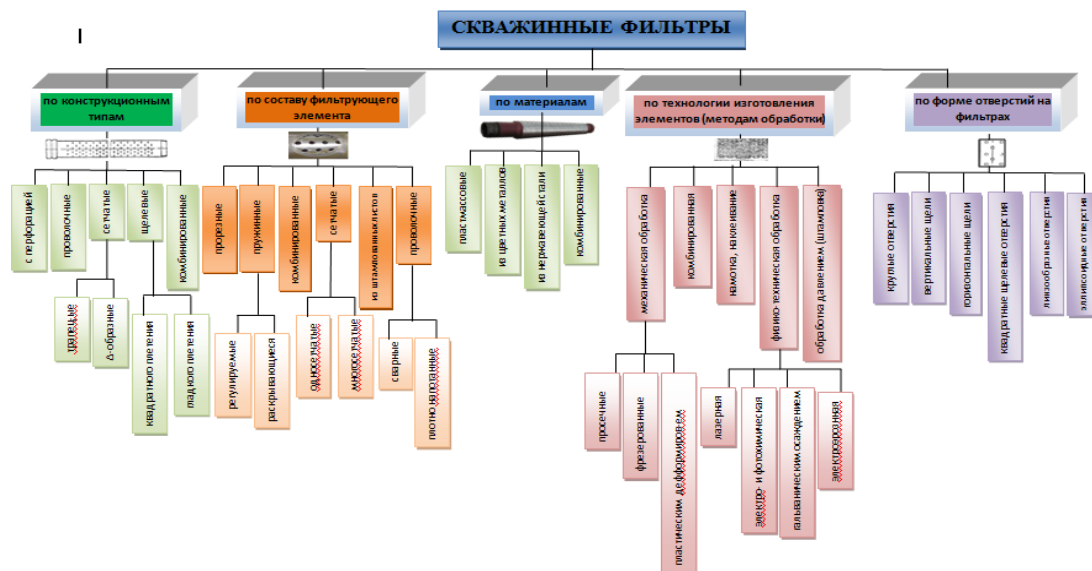


Рисунок 1 - Классификация скважинных фильтров

Анализируя представленную многозвенную классификацию, можно отметить много факторов, влияющих на работоспособность фильтров (конструкционные, технологические и другие).

Наиболее используемыми нефтяными скважинными фильтрами являются сетчатые и щелевые. В свою очередь щелевые фильтры превосходят сетчатые тем, что у них увеличена поверхность фильтрации, а также отсутствием изломов в местах контактной сварки.

На основе системного анализа скважинный фильтр может быть представлен совокупностью взаимодействующих параметров, таких как: входные/управляемые (размер зазоров между щелями, форма фильтроэлемента, материал фильтра), контролируемые, случайные (шумы) и выходные (эксплуатационные характеристики). На примере щелевого фильтра это можно представить в виде модели «черного ящика».



Рисунок 2 – Модель «черного ящика» для щелевого скважинного фильтра

Подобная классификация и модель «черного ящика» позволяет определить эксплуатационные проблемы фильтров для нефтедобычи.

Влияние параметров скважинных фильтров на эксплуатационные показатели представлены на основе QFD-методологии.

Исходными данными для «Дома качества» и определения требований клиента явилась классификация скважинных фильтров, модель «черного ящика», а также литературно-патентный обзор по проблемам работоспособности скважинных фильтров.

Таблица 1 – Требования потребителей

Требования потребителей	Оценка потребителей (от 1 не очень важно до 5 очень важно)
Надежность фильтра:	
Долговечность	5
Безотказность	5
Безопасность	5
Ремонтопригодность	4
Сохраняемость	4
Живучесть/ отсутствие трещин	4
Обеспечение достаточной скважности фильтра	5
Сохранение структуры пласта, и проницаемость (предотвращение разрушения призабойной зоны)	4
Снижение износа насосно-компрессорного	4

оборудования, трубопроводов	
Вынос песка и других механических примесей из нефтяных и газовых скважин	4
Возможность самоочищения фильтра	4
Сохранение экологии недр	3

Значение изначальной оценки потребителей по пятибалльной шкале указывались на основании литературно-патентного обзора. В зависимости от важности, проведена градация: 1 – не очень важно, 5 – очень важно.

Зависимости между требованиями и характеристиками фильтров в поле связей расставлялись проанализированным опытным путем. Корреляционная матрица, представленная в виде крыши «Дома качества», заполнялась подобным образом.

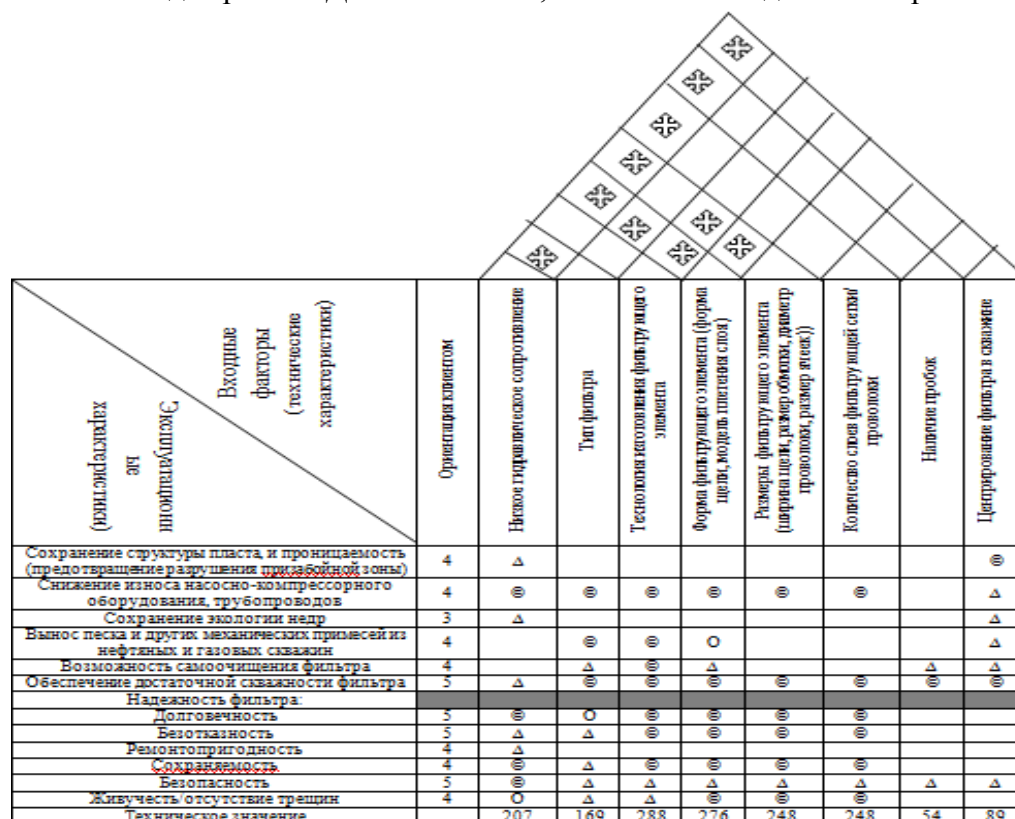


Рисунок 2 – «Дом качества»

(◎ - сильная корреляция – цифра 9, ○ - средняя корреляция – цифра 6, △ - слабая корреляция – цифра 1)

Технические значения для каждой колонки суммарных оценок характеристик фильтра были вычислены умножением оценки требований потребителей на весомость (◎; ○; △). Наибольшие технические значения показывают степень важности характеристик фильтров, т.е. приоритетные показатели качества для потребителей изделия.

«Дом качества» заполнялся символами, указывающими на соответствующую корреляцию и положительную связь между соответствующими характеристиками. Наибольшее значение имеют такие характеристики, как форма и технология изготовления фильтрующего элемента.

На основе QFD – методологии составлена матрица, позволившая оценить степень взаимодействия входных/управляемых и выходных параметров, а также их изменчивость.

Все представленные параметры можно разделить на две группы: технические (технология изготовления фильтрующего элемента, форма фильтрующего элемента, количество фильтрующих слоев) и эксплуатационные (тип фильтра, гидравлическое сопротивление, центрирование фильтра в скважине, наличие пробок).

Для оптимизации повышения работоспособности фильтров необходимо выделить наиболее влияющие факторы. Инструментом, позволяющим наглядно представить, рассматриваемые характеристики в зависимости от их значимости, является инструмент качества диаграмма Паретто [1].

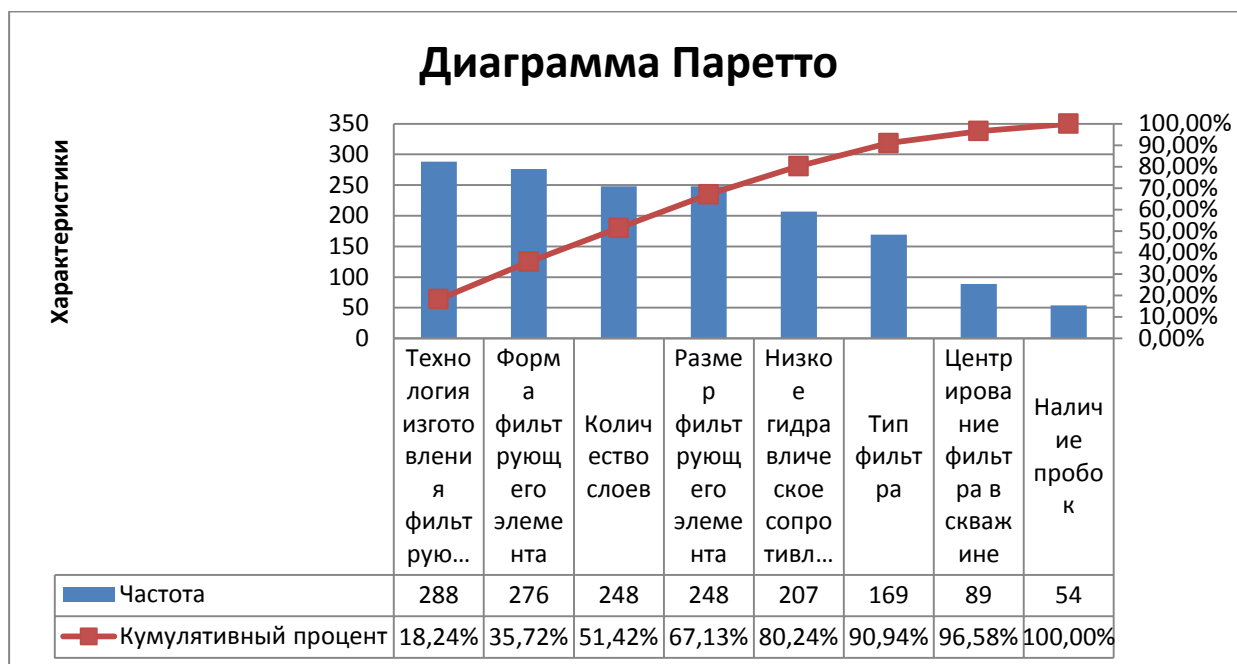


Рисунок 3 – Диаграмма Паретто по характеристикам

Диаграмма Паретто (рис.3) позволила выявить по рекомендуемым методикам два главных фактора, относящихся к технологической группе:

- технологию изготовления фильтрующего элемента;
- форму фильтрующего элемента.

Совершенствование этих характеристик позволит повысить качество скважинных фильтров. Фильтроэлемент является как одним из главных компонентов фильтрующих устройств, так и одним из основных его недостатков. От инструмента, изготавливающего фильтроэлемент, и его формы зависит пропускная способность фильтра.

По технологии изготовления фильтрующих элементов существуют разнообразные технологии, приведенные на рисунке 1 классификации скважинных фильтров.

Известно несколько способов (технологий) изготовления фильтрующих элементов щелевых фильтров: нарезка щелей дисками по двумя углами, нарезка щелей дисками под прямым углом, выполнение на внутренней поверхности фильтроэлемента продольных пазов, а на наружной – спиральных фасок; технология прорезания продольных прямолинейных щелей по внутренней поверхности трубы и нарезание непрерывной винтовой щели по внешней поверхности.

Форма заточки инструмента влияет на надежность нефтяного фильтра, к которой относится качество отверстий, и, как следствие, величина фильтрационного потока и трещинообразование.

Количественно степень нарушения фильтрационного потока оценивается коэффициентом  $\alpha$ , входящим в формулу для расчета естественной скорости потока:

$$v_{\phi} = \frac{\pi (r_1^2 - r_0^2)}{2\alpha r_1 t} \ln \frac{C}{C_0}, \quad (3)$$

где  $r_1$  – внутренний радиус фильтра;  $r_0$  – радиус детектора;  $C$  – концентрация индикатора во время  $t$ ;  $C_0$  – концентрация индикатора в начале измерения при  $t_0 = 0$ ;  $\alpha$  – показатель, характеризующий степень нарушения фильтрационного потока поверхностью фильтра [2].

Любая деформация может привести к уменьшению предела выносливости к трещинообразованию. Критерием для данного параметра является величина остаточных напряжений  $\sigma_{\phi \text{ ост}}$  на поверхности дна надреза и коэффициент перегрузки  $k_0$ , который вычисляется по формуле:

$$k_0 = \sigma_{\alpha} / \sigma_{-1P}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{\alpha}$  – амплитуда напряжений от внешней нагрузки,  $\sigma_{-1P}$  – предел выносливости по трещинообразованию.

Техническим результатом в достижении надежности скважинных фильтров является повышение пропускной способности фильтров путем изменения формообразующего инструмента, позволяющего наиболее точно изготавливать фильтроэлемент.

QFD-метод позволил выявить возможность снизить гидравлическое сопротивление за счет увеличения количества зазоров в фильтрующем элементе; регулируя данный параметр, снижается износ оборудования, повышается надежность фильтра, сохраняется структура пласта. Кроме того благодаря правильно подобранному типу фильтра, качество фильтрующего элемента, который находится в прямой зависимости от вида обработки, технологии изготовления, стабильность работы фильтра возрастает. Степень фильтрации/обеспечение достаточной скважинности фильтра определяется размером и формой фильтрующего элемента, который выбирается в зависимости от гранулометрического состава породы. Также надежность фильтра достигается за счет правильного центрирования фильтра в скважине, что сохраняет работоспособность фильтра при спуске скважинного фильтра с высокой интенсивностью набора кривизны.

В данной статье представлена разработанная классификация нефтяных скважинных фильтров и проведен анализ параметров, обеспечивающих фильтрацию при нефтедобыче. Выявлены два наиболее важных фактора (технологический и эксплуатационный), влияющих на работу скважинных фильтров; проведена оценка их влияния на качество работы фильтров и предложен метод повышения надежности и качества фильтров за счет оптимизации управляемых факторов процесса фильтрации.

Список используемой литературы:

1. Петровский Э., Лебедева И., Мельникова Н., Системный анализ и оптимизация затрат на качество// Стандарт и качества.-2003.-№9
2. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. Изд. 2, перераб. И дор. М., «Недра», 1976. 345с.
3. Соловьев Э.Ф., Варламов С.Е., Скважинные фильтры// Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2008. - №4
4. Современное оборудование для фильтрации нефти и газа// Оборудование и технология для нефтегазового комплекса. -2011. -№1.