



УДК:55.533.585

## РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТАВА ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ЕГО ОПТИМАЛЬНЫМ СВОЙСТВАМ

### RECOGNITION OF COMPOSITION OF GROUTING SOLUTION CORRESPONDING TO ITS OPTIMUM PROPERTIES

**Гасанов Рамиз Алиш**

доктор технических наук, профессор,  
Азербайджанский государственный  
университет нефти и промышленности  
ramizhasanov52@hotmail.com

**Бекиров Шаиг Халил**

кандидат технических наук,  
начальник управления,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (ГНКАР)

**Гасымова Тила Мамед**

докторант,  
старший научный сотрудник,  
Азербайджанский государственной  
университет нефти и промышленности  
tagieva89@list.ru

**Рамазанов Фазил Халил**

докторант,  
главный инженер треста,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (ГНКАР)

**Зейналов Асиф Ибрагим**

докторант,  
менеджер проекта,  
British Petroleum Exploration – Azerbaijan

**Аннотация.** В настоящей работе рассматриваются условия формирования цементного моста. С этой целью применяются процедура оптимизации тампонажного раствора. С этой целью использованы экспериментальные исследования с имитацией скважинных условий, в которых была предусмотрена возможность проведения опытов на различных уровнях входных факторов.

В качестве входных факторов для оптимизации состава тампонажного раствора рассматривается температура водоцементная отношение и содержание нефти.

Для постановки формализации и решения много критериальной оптимизационной задачи использован метод теории распылчатых множеств.

В итоге определена морфология в тампонажных растворах с наилучшими свойствами.

**Ключевые слова:** цементный мост, цементный камень, тампонажный раствор, свойств оптимизация.

**Gasanov Ramiz Alish**

Doctor of Engineering, Professor,  
Azerbaijani State University of Oil and Industry  
ramizhasanov52@hotmail.com

**Bekirov Shaig Khalil**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of Department,  
State Oil Company  
of Azerbaijan Republic (SOCAR)

**Gasymova Tila Mamed**

Doctoral Candidate,  
Senior Research Associate,  
Azerbaijani State University of Oil and Industry  
tagieva89@list.ru

**Ramazanov Fazil Khalil**

Doctoral Candidate,  
Chief Engineer of Trust,  
State Oil Company  
of Azerbaijan Republic (SOCAR)

**Zeynalov Asif Ibrahim**

Doctoral Candidate,  
Project Manager,  
British Petroleum Exploration – Azerbaijan

**Annotation.** In the real work conditions formation of the cement bridge is considered. With this I aim are applied the procedure of optimization of grouting solution. With this I aim pilot studies with imitation of borehole conditions in which the possibility of carrying out experiences at various levels of entrance factors has been provided are used.

As entrance factors for optimization of composition of grouting solution temperature water cement the relation and content of oil is considered.

For statement of formalization and the decision a lot of a criteria optimizing task the method of the theory of indistinct sets is used.

As a result the morphology in grouting solutions with the best properties is defined.

**Keywords:** cement bridge, cement fireplace, grouting solution, properties optimization.

Современный фонд нефтяных и газовых скважин, характеризующийся большими глубинами, уменьшением ствола в нижних интервалах, увеличением сложности и т.д. является источником возникновения сложных аварийных ситуаций. Как это, так и установившаяся тенденция роста фонда бурящихся и добывающих скважин способствует ежегодному увеличению объемов ре-



монтажно-восстановительных работ. Производство класса работ, направленных на ликвидацию аварий, потребляет большие средства, способствуя тем самым большим материальным затратам в народном хозяйстве.

Резервы в этом направлении существуют и заключаются в разработке с учетом промысловой обстановки формально обоснованной классификационной структуры аварийных ситуаций; разработке критериев по проектированию целесообразного набора действий для эффективней ликвидации аварий в каждой конкретной промысловой обстановке; более достоверном теоретическом и экспериментальном моделировании процесса взаимодействия скважинных инструментов с аварийным объектом; синтезе, в качестве вооружения, износостойких материалов с заданными свойствами, совместимыми с конструктивными и технологическими параметрами функционирования режущих инструментов; разработке принципиально новых режущих органов, захватных и ударных механизмов; повышении эффективности всех этапов производства процесса, зарезки второго ствола из обсаженных скважин и т.д.

Эффективность в производстве процесса второго ствола из обсаженных скважин в немаловажной степени зависит от качественных характеристик цементного моста. Поэтому задача оптимизации свойств тампонажного раствора используемого для формирования цементного моста имеет большое научно-практическое значение.

Широкое внедрение в практике цементирования буферных жидкостей вода, нефть, нефтепродукты, растворы ПАВ и др. и возможность их смещения с тампонажным раствором, свойства цементного камня при установке моста в скважине изменяются в довольно больших диапазонах. С целью изучения свойств тампонажного раствора и камня в [1] были проведены экспериментальные исследования с имитацией скважинных условий, в которых была предусмотрена возможность проведения опытов на различных уровнях входных факторов: 1 – температуры  $x_1$ ; 2 – водоцементного отношения  $x_2$ ; 3 – содержания нефти  $x_3$ .

В результате для выходных параметров, определяющих свойства тампонажного раствора и камня получены следующие уравнения:

$$\begin{aligned} y_1 &= 2,6 + 30,1x_2 + 0,2x_3 + 0,1x_1x_2; \\ y_2 &= 66 + 0,1x_1 - 23x_2 - 1,4x_3 + 3,3x_1x_2 - 0,1x_3; \\ y_3 &= 663 - 4,5x_1 - 718x_2 - 7,7x_3 + 4,3x_1x_2 + 0,1x_1x_2x_3; \\ y_4 &= 281 + x_1 + 1450x_2 + 43,9x_3 - 10x_1x_2 - 0,3x_1x_3 - 0,5x_1x_2x_3; \\ y_5 &= -625 + 3x_1 + 2605,7x_2 + 89,9x_3 - 19,8x_1x_2 - 0,6x_1x_3 - 0,9x_1x_2x_3; \\ y_6 &= 48 + 0,2x_1 - 51,3x_2 + 0,7x_3, \end{aligned} \tag{1}$$

где  $y_1$  – растекаемость,  $y_2$  водоотдача, см<sup>3</sup> за 30 мин;  $y_3$  – статическое напряжение сдвига через 1 мин, 10<sup>-1</sup> Па;  $y_4$  – начало схватывания, мин;  $y_5$  – конец схватывания, мин;  $y_6$  – прочность при изгибе через 48 ч., 10<sup>-1</sup> МПа.

Из системы уравнений (1) следует, что свойство тампонажного раствора и камня контролируется шестью параметрами. Следовательно, для определения возможного сочетания входных факторов возникает необходимость постановки, формализации и решения многокритериальных оптимизационных задач, для чего могут быть использованы методы теории расплывчатых множеств [1, 2, 3]. Определение расплывчатых множеств формируется следующим образом. Пусть  $X = \{x\}$  – совокупность точек, обозначаемых через  $x$ . Тогда расплывчатое множество  $A$  в  $x$  есть совокупность упорядоченных пар:

$$A = \{x, \mu_a(x)\}, x \in X,$$

где  $\mu_a(x)$  – функция принадлежности  $x$  к  $A$ , которому соответствует интервал  $[0, 1]$ . Таким образом, расплывчатое множество  $A$ , несмотря на нечеткость его границ, может быть определено путем сопоставления каждому объекту  $x$ , числа из интервала  $[0, 1]$ , которое определяет степень его принадлежности к  $A$ . Основными элементами процесса принятия решения в теории расплывчатых множеств являются: расплывчатая цель ( $G$ ), расплывчатое ограничение ( $C$ ), расплывчатое решение ( $D$ ), функция принадлежности  $\mu(x)$ .

Расплывчатое множество ( $D$ )  $t$  образуемое пересечением ( $G$ ) и ( $C$ ) называется решением и выражается следу щей формулой:

$$\mu_d(x) = \mu_G(x) \wedge \mu_C(x).$$



Оптимальным решением является альтернатива в пространстве  $(x)$ , которая максимизирует функцию  $\mu_d(x)$ . Следует отметить, что при решении практических задач функция принадлежности должна определяться по частичной информации о ней в некоторых опорных точках или же на основе исследований процесса.

Для реализации указанного алгоритма, для оценки и обоснования наилучшего состава тампонажного раствора по результатам исследований, приведенных /1/ определяем минимальные, средние и максимальные значения параметров определяющих его свойства, которым присваиваем значения принадлежности, приводимых в таблице 1. Функции принадлежности определяем в виде:

$$\mu(x) = 1 - \frac{1}{(K_1x + K_2)},$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – определяются из приведенных в таблице 1 опорных значений, параметров определяющих свойство тампонажного раствора и камня.

В результате для каждого выходного фактора определены нижеприводимые зависимости функций принадлежности:

$$\mu(y_1) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{1}{0,141y_1 - 1,0033} \\ 1 - \frac{1}{1,538y_1 - 30,76} \end{array} \right\} \quad 15 \leq y_1 \leq 21,3; \quad 21,3 \leq y_1 \leq 26,5; \quad (2)$$

$$\mu(y_2) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{1}{12,728y_1 - 0,124y_2} \\ 1 - \frac{1}{2,520 - 0,006y_2} \end{array} \right\} \quad 22 \leq y_2 \leq 86,6; \quad 86,6 \leq y_2 \leq 231. \quad (3)$$

**Таблица 1** – Функции принадлежности параметров, определяющих свойство тампонажного раствора

| Значение / Параметр | <i>min</i> | <i>сред.</i> | <i>max</i> |
|---------------------|------------|--------------|------------|
| $Y_1$               | 15         | 21,3         | 26,5       |
| $M(Y_1)$            | 0,1        | 0,5          | 0,9        |
| $Y_2$               | 22         | 86,6         | 231        |
| $M(Y_2)$            | 0,9        | 0,5          | 0,1        |
| $Y_3$               | 2,7        | 12,7         | 37,8       |
| $M(Y_3)$            | 0,9        | 0,5          | 0,1        |
| $Y_4$               | 110        | 476          | 1530       |
| $M(Y_4)$            | 0,1        | 0,5          | 0,9        |
| $Y_5$               | 180        | 844          | 3010       |
| $M(Y_5)$            | 0,9        | 0,5          | 0,1        |
| $Y_6$               | 0,2        | 2,3          | 4,1        |
| $M(Y_6)$            | 0,1        | 0,5          | 0,9        |

Функции принадлежности параметров, определяющих свойство тампонажного раствора:

$$\mu(y_3) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{1}{12,16 - 0,8y_3} \\ 1 - \frac{1}{2,457y_1 - 0,036y_3} \end{array} \right\} \quad 2,7 \leq y_3 \leq 12,7; \quad 12,7 \leq y_3 \leq 37,8; \quad (4)$$

$$\mu(y_4) = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{1}{24 \cdot 10^{-4}y_4 + 0,858} \\ 1 - \frac{1}{7,59 \cdot 10^{-3}y_4 - 1,613} \end{array} \right\} \quad 110 \leq y_4 \leq 476; \quad 476 \leq y_4 \leq 1530; \quad (5)$$



$$\mu(y_5) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{12,128 - 0,012y_5} \\ 1 - \frac{1}{2,346 - 4,1 \cdot 10^{-4}y_5} \end{cases} \quad 180 \leq y_5 \leq 844; 844 \leq y_5 \leq 3010; \quad (6)$$

$$\mu(y_6) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{0,423y_6 + 1,027} \\ 1 - \frac{1}{4,444y_6 - 8,221} \end{cases} \quad 0,2 \leq y_6 \leq 2,3; 2,3 \leq y_6 \leq 4,1. \quad (7)$$

По формулам (2)–(3) вычислены значения  $\mu(y_1), \mu(y_2), \mu(y_3), \mu(y_4), \mu(y_5), \mu(y_6)$  меньше из которых приводятся в таблице 2.

Таблица 2 – Минимальные значения  $\mu_d(y_1)$

|          |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | $X_1$ |       | 22    |       |       | 75    |       |
|          | $X_2$ | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,4   | 0,5   | 0,6   |
| Значения |       |       |       |       |       |       |       |
| 5        |       | 0,101 | 0,254 | 0,349 | 0,109 | 0,145 | 0,154 |
| 10       |       | 0,202 | 0,333 | 0,310 | 0,136 | 0,154 | 0,118 |
| 26       |       | 0,104 | 0,101 | 0,101 | 0,179 | 0,179 | 0,218 |

Согласно таблице 2 минимальные значения функций принадлежности по степени их значимости имеют нижеприводимую диаграмму рангов (рис. 1).

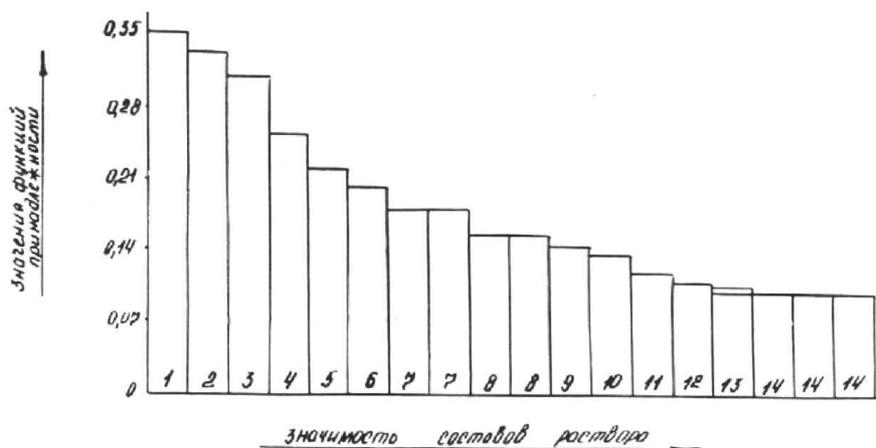


Рисунок 1 – Ранжирование составов по значимости согласно значениям Функции принадлежности  $\mu_d(y_1)$

На рисунке 2 показана морфология определения значений входных факторов для всех исследуемых тампонажных растворов и камня согласно степени значимости функций принадлежности  $\mu_d(y_1)$ . Как видно из рисунка 1 и 2 наилучшими свойствами обладает тампонажный раствор с функцией принадлежности, равной  $\mu_d^{max}(y_1) = 0,349$  Этой принадлежностью обладает раствор из которого формируется цементный мост, имеющий в составе не более 5 % смешанной нефти, твердеющий при температуре не более 22 °С с водоцементным отношением равным – 0,6. При увеличении содержащей нефти до 10 % при этой же температуре твердения наилучшим является тампонажный раствор с водоцементным отношением, равным 0,5. При увеличении температуры твердения до 75 °С увеличение содержания нефти при водоцементном отношении, равным 0,6, незначительно сказывается на свойствах тампонажного раствора и камня. При содержании нефти не менее 25 % повышение температуры в принципе показывают опыты ухудшает свойства тампонажного раствора и камня.

При формировании цементного моста из раствора с значением  $\mu_d = 0,349$ , т.е.  $x_1 = 22$  °С,  $x_2 = 0,6$   $x_3 = 5$  % тампонажный камень имеет следующие значения показателей свойства:

$Y_1 = 22$  см;  $Y_2 = 94$  см<sup>3</sup> за 30 мин,  $Y_3 = 21,5 \cdot 10^{-1}$  Па. через 1 мин.,  $Y_4 = 570$  мин.,  $y_5 = 1340$  мин.,  $Y_6 = 1,2 \cdot 10^{-1}$  МПа.

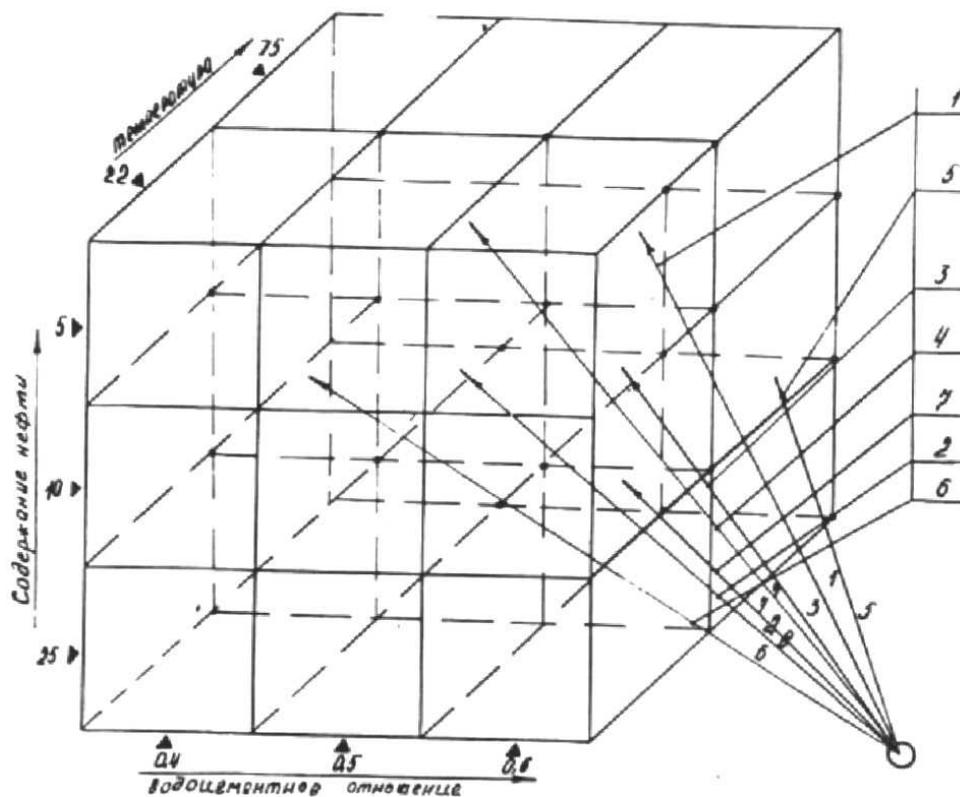


Рисунок 2 – Морфология определения составов тампонажных растворов с наилучшими свойствами

**Выводы**

- Решена много критериальная задача определения свойств тампонажного раствора и цементного камня.
- Доказано возможность применения расплывчатых множеств для решения оптимизационных задач с множеством контролируемых параметров.
- Определена группа тампонажных растворов с оптимальными свойствами с учетом влияющих выходных и контролируемых параметров

**Литература:**

1. Ашрафян М.О. Повышение качества разобщения пластов в глубоких скважинах. – М. : Недра, 1982. – 151 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи. Принципы. Методология. – М. : Наука, 1980. – 206 с.
3. Методическое руководство по анализу технологических процессов при разработке морских нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений / А.Х. Мирзаджанзаде, Э.С. Садыкзаде, Э.Э. Рамазанова и др. – Ч. 1.
4. Мирзаджанзаде А.Х., Ширинзаде С.А., Повышение эффективности и качества бурения глубоких скважин. – М. : Недра, 1986. – 277 с.

**References:**

1. Ashrafyan M.O. Improvement of quality of dissociation of layers in deep wells. – M. : Nedra, 1982. – 151 p.
2. Venttsel E.S. Research of operations. Tasks. Principles. Methodology. – M. : Science, 1980. – 206 p.
3. The methodical guide to the analysis of technological processes when developing sea oil, gas and gas-condensate fields / A.H. Mirzadzhanzade, E.S. Sadykhzade, E.E. Ramazanova, etc. – P.1.
4. Mirzadzhanzade A.H., Shirinzade S.A., Increase in efficiency and quality of drilling of deep wells. – M. : Nedra, 1986. – 277 p.