

УДК 622.244.4

**Г. М. Эфендиев**, член-корр. НАН Азербайджана<sup>1</sup>; **Г. Г. Кулиев**, академик НАН Азербайджана<sup>2</sup>; **И. И. Джанзаков**, д-р техн. наук<sup>3</sup>; **И. А. Пиривердиев**, инж.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт Нефти и Газа Национальной Академии наук Азербайджана, ул. Ф. Амирова, 9, AZ1000, г. Баку, e-mail: galib\_2000@yahoo.com, igorbaku@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Институт Геологии и Геофизики Национальной Академии наук Азербайджана, пр. Г. Джавида, 119, AZ1143, г. Баку, e-mail: hatamguliyev@gmail.com*

<sup>3</sup>*Атырауский университет нефти и газа, Республика Казахстан, г. Атырау, пр. Азаттык, д. 1, e-mail: dzhanzakov-aing@mail.ru*

### **ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

*Статья посвящена проблеме принятия решений с учетом неопределенности. Ранее рассматривался вопрос принятия решений по выбору долот и режимных параметров путем решения двухкритериальной задачи. В настоящем докладе в продолжение данного вопроса рассматриваются вопросы бурения скважин в условиях аномально высоких пластовых давлений (АВПД) и поглощений, принятия решений в данных условиях. Задача принятия решения в условиях АВПД заключается в выборе такой плотности бурового раствора, которая, численно находясь в промежутке между градиентами пластового давления ( $\eta_n$ ) и давления гидроразрыва ( $\eta_{г.р.}$ ), не привела бы к заметному снижению скорости бурения. Решить указанную задачу можно с помощью подхода, основанного на положениях теории нечетких множеств. При этом ясно, чтобы решить поставленную задачу нам должны быть известны значения порового (пластового) давления, давления гидроразрыва, а также зависимость механической скорости от плотности бурового раствора для пород рассматриваемого интервала. Пользуясь технологическими данными, поступающими в процессе бурения, можно оценить указанные характеристики. С учётом отмеченного получено выражение для оценки необходимой плотности бурового раствора с идентификацией для различных месторождений. Для ранней диагностики поглощений бурового раствора с применением нечеткого кластер-анализа дана оценка степени тяжести поглощений. Выполнена классификация и оценка риска поглощений.*

**Ключевые слова:** *принятие решений, неопределенность, аномально высокие пластовые давления, поглощения, пористость, проницаемость.*

#### **Введение**

Развитие методов получения информации, ее анализа и принятия решений, уровень развития техники и технологии выдвигают соответствующие требования к методикам проектирования оптимальных режимов бурения, учитывающие способность современных долот пройти за одно долбление большой интервал, основывающиеся на моделях, учитывающих влияние всех режимных параметров на показатели бурения, а также учитывающих неопределенность условий получения информации и принятия решений.

При этом исходная информация, как показано на блок-схеме (рис. 1), может быть различной: результаты по ранее пробуренным на данной площади (месторождении) или аналогичных площадях (месторождениях) скважинам; результаты, поступающие в процессе бурения, т.е. результаты геолого-технологических исследований в процессе бурения, которые имеют важное значение при недостаточной информации о бурении скважин или ее отсутствии.

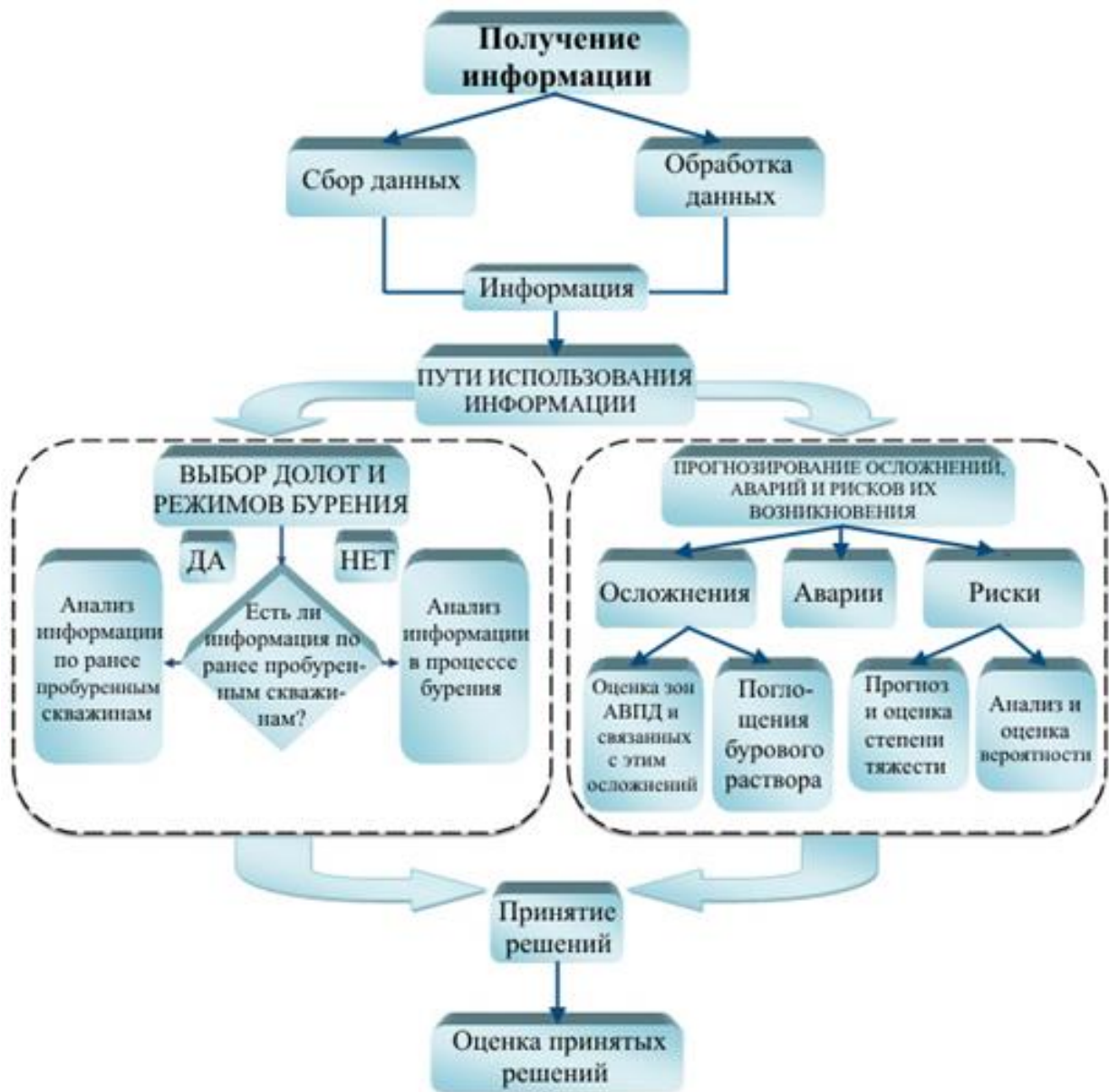


Рис. 1. Блок-схема принятия решений в процессе бурения

От характера исходной информации, полученной тем или иным путем, зависит и подход, осуществляемый к принятию решений. Ранее нами выполнялись исследования в этом направлении [1], а в этом докладе мы подробнее остановимся на результатах исследований, связанных с осложнениями при бурении скважин.

#### **Принятие решений при бурении скважин в условиях АВПД**

При бурении скважин в условиях аномально высоких пластовых давлений, в первую очередь, следует уделять особое внимание параметрам буровых растворов, а также конструкции скважин, при выборе которых важную роль играет правильная оценка геологических условий.

Неучет точных значений порового давления приводит к таким осложнениям, как проявления, выбросы, которые, в свою очередь, могут привести к потере скважины, что вызовет большой материальный ущерб. Поэтому своевременная оценка порового давления

позволяет разумно выбирать требуемую плотность бурового раствора. Проблема оптимизации управления процессом бурения является одной из важнейших проблем в последние годы. Сложность этой задачи заключается в неоднородности пробуренных пород и ограниченной информации об их свойствах и их влиянии на производительность бурения. Управление буровыми работами требует глубокого анализа различных факторов, обоснования критериев, структуры и методов построения моделей и принятия оптимального решения, оценки рисков принятия ошибочных решений. Тот факт, что многие геологические и технологические параметры, а также формулирование целей и ограничений при принятии решений являются нечеткими, затрудняет принятие оптимальных решений. При построении систем управления бурения возникает проблема, связанная с разработкой новых моделей. По мере накопления информации эти модели могут адаптироваться к ситуации неопределенности. Модель может быть эффективно реализована с использованием различных математических методов, включая теорию нечетких множеств. Исходя из отмеченного, проблема повышения эффективности процесса бурения путем оптимального управления технико-технологическими параметрами является актуальной и представляет интерес. Следует отметить, что решение задачи оценки технологических параметров в условиях аномально высоких пластовых давлений представляет собой сложную процедуру, в процессе которой необходимо обратить внимание на изменения показателей бурения, а также осложненность условий, вызванную наличием АВПД.

При решении настоящей задачи в рамках теории нечётких множеств было отмечено, что поставленные цель (поддержать высокую скорость проходки) и ограничение (плотность раствора должна находиться в промежутке между градиентами порового (пластового) давления и давления гидроразрыва) по своим формулировкам нечетки. В таком случае решение представляет собой множество, являющееся пересечением целей и ограничений с соответствующей функцией принадлежности:

$$\mu_0 = \mu_{x_1} \wedge \mu_{x_2} = \min(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}) \quad (1)$$

Используя зависимость механической скорости от плотности бурового раствора для различных пород, а также значения градиентов порового давления и давления гидроразрыва, можно выбрать соответствующий вид функций принадлежности и принять решение [2].

Функции принадлежности  $\mu_{x_1}$  и  $\mu_{x_2}$  имеют вид:

$$\mu_{x_2} = e^{-K_2(\rho - \bar{\eta})^2} \text{ - для функции принадлежности множества целей} \quad (2)$$

$$\mu_{x_1} = e^{-K_1(\rho - 1)} \text{ - для функции принадлежности множества ограничений} \quad (3)$$

С учётом отмеченного путём простейших преобразований получим выражение для оценки плотности бурового раствора:

$$\rho_{б.р.} = \frac{A - \sqrt{A^2 - 4tB}}{2t}, \quad (4)$$

$$\text{где: } A = 2t \bar{\eta} + (\eta_{п} - \eta_{гр})^2 \quad (5)$$

$$B = t \bar{\eta}^2 + (\eta_{п} - \eta_{гр})^2 \quad (6)$$

Значения градиентов порового давления и давления гидроразрыва могут быть определены различными методами (геофизическими, технологическими). В частности, для их определения можно использовать в качестве исходных технологические данные о бурении скважин, полученные в результате геолого-технологических исследований.

Далее нами рассматривались вопросы анализа и оценки поглощений, которые являются также одним из тяжелых видов осложнений.

### Анализ условий поглощений бурового раствора

В данном подразделе рассматривается возможность оценки влияния петрофизических свойств горных пород на интенсивность поглощения бурового раствора. Чтобы оценить влияние геологических условий на характер поглощения при недостаточной информации, было установлено взаимное соответствие между показателями петрофизических свойств горных пород и интенсивностью поглощения, что очень важно для ранней диагностики поглощения и оценки их риска. В настоящее время проблемы кластерного анализа или автоматической классификации широко используются в различных областях, в частности в экономике, социологии, медицине, геологии и других сферах, где существуют множества объектов произвольного типа, и они автоматически делятся на группы похожих объектов на основе их особенностей «сходства-различия» [3, 4, 5]. В последнее время эти методы широко используются в задачах анализа данных. Обычные методы кластерного анализа предлагают чистое разделение исходного множества на подмножества, в котором каждая точка включена только в один кластер после разделения. Однако в практических проблемах, особенно в геологии, нефтегазовом деле, редки случаи, когда множество объектов состоит из компактных кластеров, где каждый заметно отделен от других, что может привести к плохим результатам кластеризации из-за сдвига центра кластера.

Чтобы преодолеть такое нежелательное свойство четкого алгоритма, должен быть применен FCM-алгоритм (нечеткий алгоритм с-средних) с использованием весовых коэффициентов (функция принадлежности) для мониторинга вклада объектов в определение центра кластера [6]. FCM-алгоритм дает адекватные результаты кластеризации, если множество объектов содержит перекрывающиеся кластеры. Результаты кластеризации основаны на нечеткой функции принадлежности, использующей относительное расстояние объектов относительно центров кластеров. Например, объект, который находится далеко от центра кластера, делает меньший вклад в процесс поиска центров кластеров, чем объекты, которые близки к центру кластера.

### Результаты кластеризации

В результате применения алгоритма было получено пять кластеров (табл. 1).

Таблица 1. Качественные и количественные оценки вероятности (частоты) возникновения поглощений при бурении

| Категории вероятности (частоты) события | Качественное определение  | Количественная оценка |
|---|---|-----------------------|
| Высшая (Частое)                         | События (поглощения) происходят на протяжении процесса бурения довольно часто                               | 0,30-0,60             |
| Средняя (Вероятное)                     | Поглощения происходят несколько раз в процессе бурения скважин  | 0,08-0,30             |
| Умеренная (Возможное)                   | Возможно, могут иметь место поглощения, но в небольшом объёме   | 0,05-0,08             |
| Малая (Редкое)                          | Событие (поглощение) скорее всего не произойдет, однако возникновение его не исключается                    | 0,02-0,05             |
| Очень малая (Невероятное)               | Возникновение поглощений-событие весьма неправдоподобное; в данном случае ситуация не относится к аварийной | 0-0,02                |

Каждый из них характеризуется петрофизическими характеристиками, соответствующими скорости поглощения на основе нечетких правил:

**ЕСЛИ** порода плотная и непроницаемая, **ТО** скорость поглощения незначительная;

**ЕСЛИ** порода низкопористая и среднепроницаемая, **ТО** скорость поглощения интенсивная;

**ЕСЛИ** порода умеренно пористая и низкопроницаемая, **ТО** скорость поглощения частичная;

**ЕСЛИ** порода пористая и высокопроницаемая, **ТО** скорость поглощения катастрофическая;

**ЕСЛИ** порода высокопористая и проницаемая, **ТО** скорость поглощения серьезная.

Терм-множества входных и выходных параметров показаны на рис. 2-4.

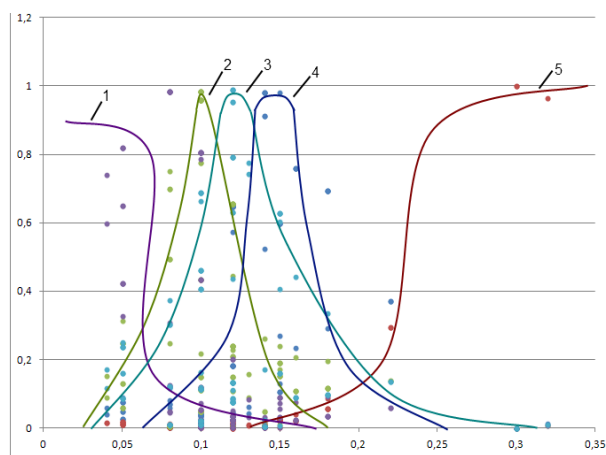


Рис. 2. Терм-множества пористости: 1 – плотная; 2 – низкопористая; 3 – среднепористая; 4 – пористая; 5 – высокопористая

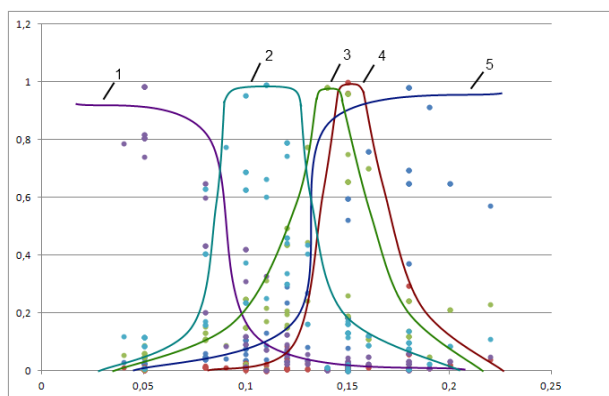


Рис. 3. Терм-множества проницаемости: 1 – непроницаемая; 2 – низкопроницаемая; 3 – среднепроницаемая; 4 – проницаемая; 5 – высокопроницаемая

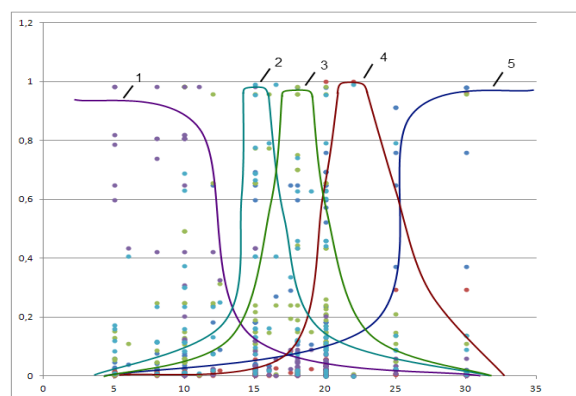


Рис. 4. Терм-множества поглощений: 1 – незначительное; 2 – частичное; 3 – интенсивное; 4 – серьезное; 5 – катастрофическое

### Выводы

Таким образом, чтобы оценить влияние геологических условий на характер поглощений в условиях отсутствия информации, было достигнуто взаимное соответствие между показателями петрофизических свойств горных пород и степенью поглощения на основе нечеткого кластер-анализа, что очень важно для ранней диагностики поглощений и оценки их риска. При этом:

1. Предложено выражение для оценки плотности бурового раствора, исходя из пересечения множеств цели (плотность должна находиться между градиентами пластового давления и давления гидроразрыва, взятых в эквивалентных единицах) и ограничения (сохранение значений механической скорости на достаточно высоком уровне).

2. С применением алгоритма нечеткой кластеризации выполнена классификация условий бурения по степени тяжести поглощений по данным о петрофизических свойствах разбуриваемых пород.

3. Предложена методика оценки и классификации рисков поглощений.

Работа выполнена в рамках проектов 01KQIT-18LR и 07LR-AMEA.

*Стаття присвячена проблемі прийняття рішень з урахуванням невизначеності. Раніше розглядалося питання прийняття рішень щодо вибору доліт і режимних параметрів шляхом вирішення двокритеріальної задачі. У цьому звіті в продовження даного питання розглядаються питання буріння свердловин в умовах аномально високих пластових тисків (АВІТ) і поглинань, прийняття рішень в даних умовах. Завдання прийняття рішення в умовах АВІТ полягає у виборі такої густини бурового розчину, яка, чисельно перебуваючи в проміжку між градієнтами пластового тиску ( $\eta_n$ ) і тиску гідророзриву ( $\eta_{e.p.}$ ), не привела б до помітного зниження швидкості буріння. Вирішити зазначену задачу можна з допомогою підходу, заснованого на положеннях теорії нечітких множин. При цьому ясно, що для того щоб вирішити поставлене завдання нам повинні бути відомі значення тиску в порах (пластового), тиску гідророзриву, а також залежність механічної швидкості від щільності бурового розчину для порід розглянутого інтервалу. Користуючись технологічними даними, які надходять в процесі буріння, можна оцінити зазначені характеристики. З урахуванням зазначеного отримано вираз для оцінки необхідної густини бурового розчину з ідентифікацією для різних родовищ. Для ранньої діагностики поглинань бурового розчину із застосуванням нечіткого кластер-аналізу дана оцінка ступеня важкості поглинань. Виконано класифікацію та оцінка ризику поглинань.*

**Ключові слова:** прийняття рішень, невизначеність, аномально високі пластові тиски, поглинання, пористість, проникність.

**G. M. Efendiyev, H. H. Guliyev, I. A. Piriverdiyev**  
**DECISION-MAKING DURING DRILLING WELLS TAKING**  
**INTO ACCOUNT UNCERTAINTY**

*The paper is devoted to the problem of decision-making in conditions of uncertainty. Earlier, the issue of making decisions on the choice of bits and regime parameters was considered by solving a two-criteria problem. In the present paper, in the continuation of this issue, the issues of drilling wells in abnormally high reservoir pressure (AHRP) and lost circulation, and decision-making under the given conditions are considered. The task of making a decision under the AHRP is to choose a mud density that, numerically in the interval between the formation pressure gradient ( $\eta_f$ ) and the fracture pressure gradient ( $\eta_{fr}$ ), would not result in a noticeable decrease in drilling speed. This problem could be solved with the help of an approach based on the theory of fuzzy sets. It is clear that in order to solve the problem posed, we need to know the values of pore (reservoir) pressure, hydraulic fracturing pressure, and also the dependence of the rate of penetration on the density of the drilling mud for the rocks of the interval under consideration. Using the technological data receiving during the drilling process, it is possible to evaluate the indicated characteristics. Taking into account the noted, an expression was obtained for estimating the necessary mud density with identification for different deposits. For the early diagnosis of lost circulation with the use of fuzzy cluster analysis, the rate of lost circulation was estimated. Classification and evaluation of risks of lost circulation was carried out.*

**Keywords:** decision-making, uncertainty, abnormally high reservoir pressure, lost circulation, porosity, permeability.

### Литература

1. Анализ и оценка эффективности принимаемых решений при бурении скважин / Эфендиев Г. М., Джанзаков И. И., Кирисенко О. Г. и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения. – 2017. – Вып. 20. – С. 153–160.
2. Efendiyev G. M., Mammadov P. Z., Piriverdiyev I. A., Sarbopeyeva M. D. Selection of the best combination of bit types and technological parameters during drilling, taking into account uncertainty // *Procedia Computer Science*. –2017. – 120. – P. 67–74.
3. Bezdek J. C., Ehrlich and Full W. The fuzzy c-means clustering algorithm // *Computers and Geosciences*. – 1984. – № 10. – P. 191–203.
4. Turksen I. B. Full Type 2 to Type n Fuzzy System Models / *Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control*(2013).–Izmir, Turkey. – P. 21.
5. Aliev R. A., Guirimov B. G. *Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications*. – Springer, 2014.–190 p.
6. Efendiyev G. M., Mammadov P. Z., Piriverdiyev I. A., Mammadov V. N. Clustering of geological objects using FCM-algorithm and evaluation of the rate of lost circulation // *Procedia Computer Science*. – 2016. – 102. – P. 159–162.

Поступила 27.06.18

### References

1. Efendiiev, G. M., Dzhanzakov, I. I., Kirisenko, O. G., et al. (2017). Analiz i otsenka effektivnosti prinimaemykh reshenii pri bureanii skvazhin [Analysis and evaluation of the decisions taken while drilling wells]. *Porodorazrushaiushchii i metallobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika, tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia*. – *Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 20, 153–160 [in Russian].
2. Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., Piriverdiyev, I. A., & Sarbopeyeva, M. D (2017). Selection of the best combination of bit types and technological parameters during drilling, taking into account uncertainty. *Procedia Computer Science*, Vol. 120, 67–74.
3. Bezdek, J. C., Ehrlich, and Full, W (1984). The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers and Geosciences*, 10, 191–203.
4. Turksen, I. B. (2013). Full Type 2 to Type n Fuzzy System Models. *Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control*. (p. 21). Izmir, Turkey.
5. Aliev, R. A., & Guirimov, B. G (2014). *Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications*. Springer.
6. Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., Piriverdiyev, I. A., & Mammadov, V.N (2016). Clustering of geological objects using FCM-algorithm and evaluation of the rate of lost circulation. *Procedia Computer Science*. Vol. 102, 159–162.