

УДК 622.276, 004.8

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.017](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.017)

Методика анализа ремонта нефтегазовых скважин при управлении на основе интеллектуального анализа данных

З.Д. Нургалиева✉, В.А. Латыпова

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Российская Федерация
zemfira.nurgalieva@inbox.ru✉

Резюме. Одним из важнейших шагов для увеличения прибыли в нефтедобыче, наряду с инвестициями в оборудование, поиском и открытием новых месторождений, является аналитика. Эффективность добычи нефти и газа на существующих месторождениях можно повысить с помощью комплексного анализа существующего потока данных. Мониторинг добычи нефти и газа и профилактический ремонт скважин предполагают сбор и обработку данных о функционировании скважин. Этих данных не всегда достаточно для принятия точных решений по управлению ремонтами скважин. Ряд проблем нельзя выявить из-за скудности информации, в связи с чем снижается эффективность принимаемых решений. Мониторинг ремонта скважин с использованием интеллектуального анализа данных выполняет ряд функций. Во-первых, он определяет состояние критических условий ремонта скважины, для которых будет разработан план действий. Во-вторых, он предоставляет руководству обратную связь, определяя причины прошлых положительных и отрицательных результатов. В статье предлагается методика анализа ремонта нефтегазовых скважин при управлении на основе интеллектуального анализа данных с использованием поиска последовательных шаблонов ремонта. Методика апробирована в нефтегазовой компании ПАО «Газпром нефть» на данных по ремонту скважин месторождений сообщества «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз».

Ключевые слова: поиск последовательных шаблонов, ремонт нефтегазовых скважин, интеллектуальный анализ данных, нефтегазовое месторождение, анализ ремонта скважин.

Для цитирования: Нургалиева З.Д., Латыпова В.А. Методика анализа ремонта нефтегазовых скважин при управлении на основе интеллектуального анализа данных. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1186> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.017

Oil and gas well repair analysis technique based on data mining in management

Z.D. Nurgalieva✉, V.A. Latypova

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation
zemfira.nurgalieva@inbox.ru✉

Abstract. One of the most important steps to increase profits in oil production is not only investment in equipment, exploration and discovery of new fields, but also analytics. The efficiency of oil and gas production in existing fields can be improved through a comprehensive analysis of the existing data stream. Monitoring of oil and gas production and preventive maintenance of wells involve the collecting and processing of data on the functioning of wells. Such data are not always sufficient for making accurate decisions on well repair management. A number of problems cannot be identified due to the scarcity of information, and therefore the efficiency of the decisions is reduced. Well repair monitoring using data mining performs a number of functions. Firstly, it determines the status of critical well repair conditions for which an action plan will be developed. Secondly, it provides management with feedback by identifying the causes of past positive and negative results. The article proposes an oil and gas well

repair analysis technique based on data mining with the aid of repair sequential pattern mining in management. The technique was tested in the oil and gas company Gazpromneft on oil and gas well repair data of Gazpromneft-Noyabrskneftegaz community field.

Keywords: sequential pattern mining, oil and gas well repair, data mining, oil and gas field, well repair analysis.

For citation: Nurgalieva Z.D., Latypova V.A. Oil and gas well repair analysis technique based on data mining in management. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1186> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.017 (In Russ.).

Введение

Одним из важнейших шагов для увеличения прибыли в нефтедобыче, наряду с инвестициями в оборудование, поиском и открытием новых месторождений, является аналитика. Эффективность добычи нефти и газа на существующих месторождениях можно повысить с помощью комплексного анализа существующего потока данных. Мониторинг добычи нефти и газа и профилактический ремонт скважин предполагают сбор и обработку данных о функционировании скважин. Этих данных не всегда достаточно для принятия точных решений по управлению ремонтами скважин. Ряд проблем нельзя выявить из-за скудности информации, в связи с чем снижается эффективность принимаемых решений. Мониторинг ремонта скважин с использованием интеллектуального анализа данных выполняет ряд функций. Во-первых, он определяет состояние критических условий ремонта скважины, для которых будет разработан план действий. Во-вторых, он предоставляет руководству обратную связь, определяя причины прошлых положительных и отрицательных результатов.

Целью исследования является повышение эффективности принятия решений по управлению ремонтом скважин.

Задачами исследования являются:

- рассмотрение существующих решений по анализу работы нефтегазовых скважин при управлении;
- разработка методики анализа ремонта нефтегазовых скважин при управлении на основе интеллектуального анализа данных;
- апробация данной методики в нефтегазовой компании.

Материалы и методы

Существующие методики анализа работы нефтегазовых скважин

В работе [1] описано использование интеллектуального анализа данных при анализе состава обратной воды, полученной из скважин сланцевой формации. Выявлены ключевые тренды в изменении воды, добываемой после проведения гидроразрыва пласта на сланцах. Описанный подход по анализу состава вод может быть использован для качественного и количественного мониторинга обводнения скважин, а также поиска источников обводнения.

В работе [2] представлен проект, целью которого является поиск пропущенных интервалов по данным каротажа скважин с использованием интеллектуальных технологий, а также проект по интеллектуальному поиску объектов-аналогов по заданным критериям с помощью машинного обучения.

Также в данной работе рассмотрена система распространения знаний, используемая в компании «Газпром нефть», которая представляет собой интеллектуальную систему, использующую технологию поиска, способную отвечать на запросы пользователей, представленные на естественном языке.

В данной компании используется модуль «Анализ рентабельности скважин» в составе информационной системы «Шахматка и Техрежим» (блок разведки добычи), описанный в работе [3]. Модуль помогает принимать стратегические решения по действующему фонду скважин: остановка либо продолжение их работы в случае, если это обусловлено технологическими и геологическими рисками, а также степень их воздействия на показатели работы скважины. Модуль реализует комплекс алгоритмов, которые позволяют по косвенным данным, без прямых замеров дебита, выявлять отклонения от запланированного режима добычи, а также ошибки в работе датчиков. Модуль включает в себя алгоритмы по выявлению внутрисменных простоев и осложнений в работе скважин, алгоритм виртуальной расходомерии, алгоритм, выявляющий аномальные циклы работы периодических скважин.

В работе [4] описана автоматизация анализа данных месторождения «DataLab». Используется система, которая предоставляет необходимую инфраструктуру для проектов машинного обучения и существенно ускоряет процессы сбора и реализации доступа к данным.

В работе [5] рассмотрено применение оценки работы бригад по ремонту на основе предиктивной аналитики.

Интеллектуальные технологии активно используются при управлении работой нефтегазовых скважин, однако в области ремонта их применение ограничено.

Поиск последовательных шаблонов

Метод поиска последовательных шаблонов заключается в выявлении максимальных последовательностей среди всех последовательностей, для которых поддержка выше заданного порога [6]. К частым последовательностям относят те из них, которые удовлетворяют ограничению минимальной поддержки. Впервые данный метод упоминается в работе [7].

Интерес к методам анализа шаблонов связан с их способностью обнаруживать шаблоны, которые могут быть скрыты в больших базах данных и могут быть интерпретированы людьми, а следовательно, полезны для понимания данных и принятия решений [8].

Поиск последовательных шаблонов часто применяют при анализе покупок в магазине и еще во многих областях, таких как электронное обучение [9], биоинформатика, анализ текста, анализ рыночной корзины, снижение энергопотребления в умных домах, анализ посещаемости веб-страниц.

Для поиска последовательных шаблонов существует большое количество алгоритмов, одним из которых является алгоритм PrefixSpan, обладающий достаточно высокой производительностью.

Метод поиска последовательных шаблонов на данный момент не используется при управлении ремонтом нефтегазовых скважин.

Методика анализа ремонта нефтегазовых скважин при управлении на основе интеллектуального анализа данных

В основе предлагаемой методики лежит использование интеллектуального анализа данных о ремонте нефтегазовых скважин: поиска последовательных шаблонов ремонта.

Множество типов ремонта скважин имеет вид:

$$M = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_8, M_9, M_{10}, M_{11}\}, \quad (1)$$

где M_1 – бурение; M_2 – запуск скважины; M_3 – капитальный ремонт скважин; M_4 – гидроразрыв пласта; M_5 – выход на режим; M_6 – установка гибкой насосной трубы; M_7 –

разрядка; M_8 – обустройство; M_9 – подземный ремонт скважин; M_{10} – подготовка к гидроразрыву пласта; M_{11} – тех. отстой.

Описание типов ремонта представлено в Таблице 1.

Таблица 1 – Типы ремонта скважин и их описание

Table 1 – Types of well repair and their description

Тип ремонта	Описание типа ремонта
M_1	Бурение – это разрушение породы за счет ударов бурового инструмента.
M_2	Запуск скважин – комплекс работ по вызову притока жидкости из пласта в скважину.
M_3	Капитальный ремонт скважин – комплекс работ по восстановлению работоспособности скважин и продуктивного пласта различными технологическими операциями.
M_4	Гидроразрыв пласта – способ интенсификации работы добывающих скважин и увеличения добычи нефти из нефтяного пласта в результате развития в нем естественных или искусственных трещин за счет создания в забое давления, превышающего предел прочности породы.
M_5	Выход на режим – процесс, когда скважина после ремонта выходит на режим работы.
M_6	Установка гибкой насосной трубы применяется для ускорения процесса первичного вызова притока из скважин, а также более тщательной очистки забоя от используемого расклинивающего агента и механических примесей с дохождением до искусственного забоя или глубины.
M_7	Разрядка – процесс для снижения давления, необходимого для глушения скважины.
M_8	Обустройство – подготовка скважины к добыче той или иной жидкости.
M_9	Подземный ремонт скважин – комплекс работ, включает частичную или полную замену подземного оборудования.
M_{10}	Подготовка к гидроразрыву пласта – действия, выполняемые для изготовления деталей, транспортировка жидкости.
M_{11}	Тех. отстой – остановка закачки, для того чтобы снизить давление.

Методика включает шаги:

1. Извлечение данных о проведенном ремонте нефтегазовых скважин из системы управления и мониторинга в виде последовательностей ремонтов S :

$$S = S_1, S_2, \dots, S_i, i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где S_i – тип проведенного ремонта в i -й день; n – количество дней, за которые проводится анализ ремонта.

$$S_i \in M. \quad (3)$$

Предварительно экспертом задается временной диапазон, а также наименование дочернего сообщества, информация о ремонте скважин которого подвергается анализу.

2. Интеллектуальный анализ последовательности ремонтов S (поиск последовательных шаблонов ремонта).

Перед процедурой выделения шаблонов ремонта экспертом определяется пороговое значение. Данное значение определяет минимальное количество скважин (выраженное в

процентах), последовательность ремонтов которых обладает одинаковым шаблоном ремонта. Результатом интеллектуального анализа последовательностей ремонтов является отсортированный список шаблонов, представленный в порядке убывания.

3. Выделение проблемных шаблонов ремонта и скважин, для которых характерен данный шаблон. Эти скважины требуют пристального внимания и применения соответствующих мер со стороны руководства. Проблемные шаблоны определяются экспертным путем. Данные шаблоны позволяют выявить проблемы в процессе ремонта скважин, которые затруднительно определить другими способами.

Методику можно использовать при управлении ремонтами нефтегазовых скважин, которые работают достаточно давно (более 10 лет) и на которых ведутся активные ремонтные работы.

Описание эксперимента и используемое программное обеспечение

Предлагаемая методика прошла апробацию в ПАО «Газпром нефть».

Для управления ремонтами в данной организации используется информационная система «ЭРА-Ремонты». Данная система является инструментом, который позволяет управлять работами ПАО «Газпром нефть», реализуемыми на всех этапах цикла ремонта и освоения скважин и анализировать их. Система «ЭРА-Ремонты» включает в себя модули, позволяющие оптимизировать процессы планирования, реализации и анализа выполненных ремонтных работ.

В информационной системе «ЭРА-Ремонты» на данный момент мониторинг скважин происходит в модуле «Аналитика» с помощью подмодулей «Непроизводительное время», «Лучшая композитная скважина», «Лучший композитный ремонт», дашборд «Ключевые отклонения процессов текущего и капитального ремонта скважин», дашборд «Полный цикл строительства скважин».

Для поиска последовательных шаблонов авторами была использована бесплатная программа SPMF (Sequential Pattern Mining Framework) [10].

В будущем предполагается разработка модуля, осуществляющего поиск последовательных шаблонов ремонтов скважин, в составе системы «ЭРА-Ремонты».

Данные для анализа были получены из системы продуктивной среды ООО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз», использована информация о ремонтах 145 скважин за 3 месяца (сентябрь – октябрь – ноябрь). Выбор на дочернее сообщество пал на «Газпромнефть – Ноябрьскнефтегаз», т. к. данное дочернее сообщество существует много лет и именно здесь проводится большое количество ремонтных работ.

Результаты и обсуждения

Найденные последовательные шаблоны, встречающиеся у 50 % скважин и более, представлены в Таблице 2.

Всего выявлено 42 типовых последовательных шаблона.

В результате анализа выделенных шаблонов определено, что встречается два вида шаблонов:

- 1) шаблоны, состоящие из одинаковых типов ремонта;
- 2) шаблоны, состоящие из разных типов ремонта.

Большинство шаблонов является шаблонами первого вида, шаблоны второго вида представлены в значительно меньшем количестве. К последним относятся шаблоны с номерами: 32, 37-39 (после бурения M_1 идет капитальный ремонт скважин M_3) и 34, 35, 40, 41 (после капитального ремонта скважин M_3 идет запуск скважин M_2). Выделенные последовательные шаблоны проанализированы экспертами. В качестве

экспертов были опрошены ведущий аналитик и эксперт информационной системы «ЭРА-Ремонты», являющиеся представителями ООО «Газпромнефть – Цифровые решения».

Нежелательным является частое повторение одного типа ремонта, превышающее заданный порог. Например, для капитального ремонта скважин М₃ шаблон, включающий 7 и более элементов, является проблемным. Выявление такого шаблона позволит принять меры по оптимизации процесса проведения данного типа ремонта. Данный проблемный шаблон был выявлен при анализе.

Для разных видов ремонта пороговые значения по количеству элементов в шаблоне различно. Например, для запуска скважины М₂ пороговым является присутствие 5 элементов. При наличии такого шаблона можно сделать выводы о том, что необходима оптимизация логистики материально-технических ресурсов на скважину. Такого шаблона выявлено не было.

Все шаблоны, состоящие из разных типов ремонта, были оценены экспертами как неproblemные. Ситуация, когда после бурения идет капитальный ремонт, является нормальной по многим причинам. Например, часто возникает необходимость в дополнительном заглублении ствола или проведении гидроразрыва пласта с целью увеличения нефтеотдачи.

Таблица 2 – Последовательные шаблоны, встречающиеся у 50 % скважин и более
Table 2 – Sequential patterns found in 50 % of wells and more

Номер шаблона	Последовательный шаблон	Кол-во скважин с шаблоном
1	M1	112
2	M3	110
3	M1 M1	108
4	M3 M3	108
5	M3 M3 M3	107
6	M1 M1 M1	106
7	M1 M1 M1 M1	105
8	M1 M1 M1 M1 M1	104
9	M1 M1 M1 M1 M1 M1	103
10	M1 M1 M1 M1 M1 M1 M1	102
11	M3 M3 M3 M3	102
12	M1 M1 M1 M1 M1 M1 M1 M1	101
13	M1 M1 M1 M1 M1 M1 M1 M1 M1	100
14	M3 M3 M3 M3 M3	97
15	M1	96
16	M1	96
17	M1	94
18	M1	94
19	M1	94
20	M1 M1	93

Таблица 2 (продолжение)
Table 2 (continued)

Номер шаблона	Последовательный шаблон	Кол-во скважин с шаблоном
21	M1 M1	90
22	M1 M1	89
23	M1 M1	84
24	M4	82
25	M1 M1	82
26	M3 M3 M3 M3 M3 M3	82
27	M4 M4	80
28	M2	79
29	M1 M1	78
30	M2 M2	77
31	M1 M1	75
32	M1 M3	75
33	M5	74
34	M3 M2	74
35	M3 M2 M2	74
36	M4 M4 M4	73
37	M1 M1 M1 M3	73
38	M1 M1 M3	73
39	M1 M3 M3	73
40	M3 M3 M2	73
41	M3 M3 M2 M2	73
42	M3 M3 M3 M3 M3 M3 M3	73

Ситуация, когда после капитального ремонта идет запуск скважин, связана со следующим. При проведении капитального ремонта на скважине последняя является остановленной, и нефтедобыча на ней не производится. Сразу после завершения работ скважину выводят на режим и запускают добычу. Как только она выходит на режим, производится запуск с постоянным суточным дебетом.

Таким образом, предлагаемая методика анализа ремонта нефтегазовых скважин позволяет на основе выявленных шаблонов ремонта принимать решения, направленные на улучшение работы нефтегазовых скважин.

Заключение

В результате проведенного исследования получены результаты:

- рассмотрены существующие решения по анализу работы нефтегазовых скважин при управлении и выявлены их недостатки;
- разработана методика анализа ремонта нефтегазовых скважин при управлении на основе интеллектуального анализа данных с использованием поиска последовательных шаблонов ремонта;
- методика апробирована в нефтегазовой компании ПАО «Газпром нефть» на данных по ремонту месторождений сообщества «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Морозов Н.В., Калачева Д.Ю. Анализ состава обратной воды, полученной из скважин сланцевой формации Марцеллус, путем использования интеллектуального анализа данных «Data Mining». *Корпоративный портал знаний Газпромнефть*; 2017.
2. Баширов К.И., Костенко М.С., Дятлов А.М. Опыт использования больших данных в российских нефтяных компаниях. *Вестник магистратуры*. 2019;2(8):21–23. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-ispolzovaniya-bolshih-dannyh-v-rossiyskih-neftyanyh-kompaniyah> (дата обращения: 12.05.2022).
3. Халиков Ф., Ветошкина Т. Новый модуль «Анализ рентабельности скважин». *Корпоративный портал знаний Газпромнефть*; 2021.
4. Брэгман К., Панкова М., Аршавский А. Система управления метаданными и рабочего места интеллектуального анализа данных и машинного обучения. *Корпоративный портал знаний Газпромнефть*, 2020.
5. Разманова С.В. Нефтесервисные компании в рамках цифровизации экономики: оценка перспектив инновационного развития. *Записки Горного института*. 2020;(244):482–492. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.11.
6. Паклин Н.Б., Уланов С.В. Последовательные шаблоны в банковском директ-маркетинге. *TERRA ECONOMICS*. 2009;2-3(7):99–103. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/posledovatelnye-shablony-v-bankovskom-direkt-marketinge/viewer> (дата обращения: 12.05.2022).
7. Agrawal, R. and Srikant, R. Mining sequential patterns. *Proceedings of the 11th International Conference on Data Engineering (ICDE'95)*. IEEE Computer Society Press; 1995. p. 3–14.
8. Fournier-Viger P., Jerry C.W. Lin R.U., Kiran Y.S. Koh and R. Thomas. a survey of sequential pattern mining. *Data Science and Pattern Recognition*. 2017;(2):55–60.
9. Latypova V. Work with free response implementation process analysis based on sequential pattern mining in engineering education. *Proceedings of the VI international conference on information technologies in engineering education (Inforino), 12-15 April 2022, Moscow, Russia, unpublished*.
10. Fournier-Viger P., Lin C.W, Gomariz A., Gueniche T., Soltani A., Deng Z., Lam H.T. The SPMF open-source data mining library version 2. *Proceedings of the 19th European conference on principles of data mining and knowledge discovery*. Springer; 2016. p. 36–40. DOI: 10.1007/978-3-319-46131-1_8.

REFERENCES

1. Morozov N.V., Kalacheva D.Yu. Analysis of the composition of return water from wells in the Marcellus Shale Formation using Data Mining. *Corporate knowledge portal Gazpromneft*. 2017. (In Russ.)
2. Bashirov K.I., Kostenko M.S., Dyatlov A.M. Experience in using big data in Russian oil companies. *Vestnik magistratury*. 2019;2(8):21–23. Available at:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-ispolzovaniya-bolshih-dannyh-v-rossiyskih-neftyanyh-kompaniyah> (accessed on 12.05.2022). (In Russ.)
3. Khalikov F., Vetoshkina T. New module «Well Profitability Analysis». *Corporate knowledge portal Gazpromneft*. 2021. (In Russ.)
 4. Bragman K., Pankova M., Arshavsky A. Metadata Management System and Workplace Data Mining and Machine Learning. *Corporate knowledge portal Gazpromneft*. 2020. (In Russ.)
 5. Razmanova S.V. Oilfield service companies in the framework of the digitalization of the economy: assessment of the prospects for innovative development. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2020;(244):482–492. (In Russ.)
 6. Paklin N.B., Ulanov S.V. Sequential patterns in banking direct marketing. *TERRA ECONOMICS*. 2009;2-3(7):99–103. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/posledovatelnye-shablony-v-bankovskom-direkt-marketinge/viewer> (accessed on 12.05.2022). (In Russ.)
 7. Agrawal, R. and Srikant, R. Mining sequential patterns. *Proceedings of the 11th International Conference on Data Engineering (ICDE'95)*. IEEE Computer Society Press; 1995. p. 3–14.
 8. Fournier-Viger P., Jerry C.W. Lin R.U., Kiran Y.S. Koh and R. Thomas. a survey of sequential pattern mining. *Data Science and Pattern Recognition*. 2017;(2):55–60.
 9. Latypova V. Work with free response implementation process analysis based on sequential pattern mining in engineering education. *Proceedings of the VI international conference on information technologies in engineering education (Inforino), 12-15 April 2022, Moscow, Russia, unpublished*.
 10. Fournier-Viger P., Lin C.W, Gomariz A., Gueniche T., Soltani A., Deng Z., Lam H.T. The SPMF open-source data mining library version 2. *Proceedings of the 19th European conference on principles of data mining and knowledge discovery*. Springer; 2016. p. 36–40. DOI: 10.1007/978-3-319-46131-1_8.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Нургалиева Земфира Дамировна, студент магистратуры, Уфимский государственный авиационный технический университет; тестировщик, «Газпромнефть-Цифровые решения», Уфа, Российская Федерация.
e-mail: zemfira.nurgalieva@inbox.ru

Zemfira Damirovna Nurgalieva, Master's Student, Ufa State Aviation Technical University; Tester, Gazpromneft-Cifrovye resheniya, Ufa, Russian Federation.

Латыпова Виктория Александровна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем управления, Уфимского государственного авиационного технического университета, Уфа, Российская Федерация.
e-mail: vikvaphoto@yandex.ru
ORCID: [0000-0003-3063-105X](https://orcid.org/0000-0003-3063-105X)

Viktoriya Aleksandrovna Latypova, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Automated Management Systems of Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; одобрена после рецензирования 23.06.2022; принята к публикации 27.06.2022.

The article was submitted 17.05.2022; approved after reviewing 23.06.2022; accepted for publication 27.06.2022.