

УДК 622.24
ГРНТИ 38.59.15
DOI 10.56525/FLZQ3049

**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК
НАДЕЖНОСТИ НЕФ
ТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

***М.К. Каражанова,**
Каспийский университет технологий
и инжиниринга имени Ш.Есенова
г.Актау, Казахстан.

E-mail: maral.karazhanova@yu.edu.kz

Рузбе Г. Моганлу
Университет Оклахомы
г. Норман, США.

E-mail: rouzbehmoghanloo@gmail.com

И.А. Пиривердиев
Институт нефти и газа
Министерства науки и образования
Азербайджана
г.Баку

E-mail: igorbaku@yandex.ru

***Автор корреспонденции: maral.karazhanova@yu.edu.kz**

Аннотация. Статья посвящена результатам анализа информации и установлению взаимосвязи между факторами, влияющими на надежность нефтепромыслового оборудования с использованием алгоритма нечеткой кластеризации. Одной из основных задач нефтепромысловой практики является оценка влияния различных факторов на эффективность эксплуатации месторождений и принятие правильных технологических решений. Надежность оценок и решений определяется тем, насколько достоверно выбраны входные и выходные переменные и их значения. Часто возникают ситуации, когда при наличии одних и тех же данных получаются принципиально разные результаты. Для нахождения конкретных выражений этих зависимостей и характеризующих их параметров используются, в частности, методы статистической обработки данных. В результате анализа причин отказов глубинных насосов были установлены факторы, влияющие на эффективность работы насоса на рассматриваемых месторождениях и подвергнуты нечеткому кластерному анализу, позволяющему получить представление о влиянии выбранных факторов на показатели эффективности в условиях неопределенности. Была получена связь между входными и выходными переменными, которую можно выразить нечетким выражением правила ЕСЛИ-ТО.

Ключевые слова: надежность, коэффициент расхода, межремонтный период, теория нечетких множеств, нечеткий кластерный анализ.

Введение. Одной из основных задач нефтепромысловой практики является оценка влияния различных факторов на эффективность эксплуатации месторождений и принятие правильных технологических решений. Надежность оценок и решений определяется тем, насколько достоверно выбраны входные и выходные переменные и их значения. Часто возникают ситуации, когда имея одни и те же данные, мы получаем принципиально

разные результаты. Чтобы найти конкретное выражение этих связей и характеризующих их параметров, мы используем, в частности, методы статистической обработки данных. В итоге реальные экспериментальные данные или результаты естественных наблюдений заменяются полученными законами и некоторым интегралом. В соответствии с технологией закон, который выражается в виде уравнений связи между влияющими факторами и показателями эффективности, в дальнейшем будет перенесен на исследуемый объект. Этот путь часто является источником ошибочных выводов, поскольку в большинстве случаев формулирование целей и ограничений при принятии решений по повышению эффективности эксплуатации насосов и месторождений происходит при наличии неопределенности, нечеткости и множественности факторов, требующих адекватного подхода.

Материалы и методы исследования. При бурении скважин нам приходится сталкиваться с множеством параметров, присущих нефтяному пласту как сложной системе. Одной из важных проблем в этом случае является классификация и кластеризация данного объема информации, а также выделение наиболее важных из них. Теория нечетких множеств успешно применяется для решения этих проблем при анализе разработки месторождений и принятии решений. В [1] нечеткая информация о месторождениях углеводородов рассматривается как ситуация, возникшая из-за физической и лингвистической неопределенности. Физическая возникает из-за невозможности определения необходимых физико-химических, механических, геологических и технологических параметров в каждой точке сложной горнодобывающей системы. Как отмечает автор, сведения о геолого-технической системе точечны и не охватывают всю систему в целом. Кроме того, неточность измерений и их последующая интерпретация способствуют физической неопределенности количественных оценок. Лингвистическая неопределенность качественных параметров обусловлена множественностью и неоднозначностью значений и взаимоотношений языков «специалистов» и «экспертов» [1]. В отмеченной работе считается, что количественные и качественные характеристики сложной геолого-технической системы нечетки. В этом контексте автор рассматривает способы эксплуатации виртуальных месторождений.

Работы, посвященные принятию решений в нечетких условиях в нефтепромысловой практике, отражены в [2,5-9]. В [2] показаны преимущества применения теории нечетких множеств при решении задач управления и мониторинга процессов разработки газовых месторождений и объектов газодобывающей системы в условиях неопределенности. Приведены алгоритмы расчета, показаны результаты, полученные при работе с нечеткими величинами на реальных или гипотетических данных. Нечеткая логика и ее потенциальное применение при решении задач нефтяного машиностроения показаны в [5-7]. Наиболее успешное применение интеллектуальных систем, особенно при решении инженерных задач, было достигнуто при совместном использовании различных интеллектуальных инструментов и в виде гибридной системы. Как показано в [8], экспертные системы — это инструменты искусственного интеллекта, которые хранят и реализуют мнения, методы и правила экспертов для достижения точных системных результатов. В качестве подготовки экспертной системы, использующей экспертные знания, анализ данных нефтяных скважин и переупорядочение принадлежности нефтяных месторождений, в качестве экспертной системы была разработана FPP – Fuzzy Petroleum Prediction.

В целом анализ накопленных исследований показал возможность решения ряда задач нефтепромысловой практики, в частности, задач моделирования, принятия решений, классификации объектов и т. д. с использованием теории нечетких множеств.

Для оценки изменений параметров насоса предлагается использовать коэффициент расхода и межремонтный период по данным, приведенным в литературе.

Коэффициент расхода и время выполнения работ зависят от многих факторов. Для установления влияния этих факторов был проведен анализ информации о геолого-

технологических характеристиках условий эксплуатации, который показал невозможность построения статистических зависимостей из-за их несостоятельности в данном случае. В последние годы широкое распространение получили методы принятия решений с учетом неопределенности внешней среды. Одним из таких методов является нечеткая классификация [3,4].

В [3] дано описание алгоритма нечеткой кластеризации, показаны его смысл, роль и значение фактора фаззификации, который играет важную роль, поскольку напрямую влияет на форму образующихся нечетких кластеров.

Результаты исследования. Как известно, основной проблемой при бурении скважин в осложненных условиях является ухудшение показателей надежности, что, в свою очередь, влияет на технико-экономические показатели в целом. На работу насосов влияют многочисленные факторы, как геологические, так и технико-технологические.

Геологические факторы (газ, вода, солевые и парафиновые отложения, механические примеси и др.), прежде всего, характеризуют пластовые условия. Другой группой факторов являются факторы, связанные с конструкцией скважины или насоса (диаметры эксплуатационной колонны, кривизна скважины, комплектующие и запасные части насоса и т.д.). Естественно, все факторы можно разделить на факторы, оказывающие положительное или отрицательное влияние на производительность насоса. К настоящему времени накоплено большое количество исследований по работе глубинных насосов в осложненных условиях. Как показывает практика, безводный период работы скважины занимает незначительную часть общего периода, в связи с чем влияние воды на насос начинается практически с самого начала эксплуатации скважины. Появление воды в добываемой нефти при этом является одной из основных причин ухудшения работы скважин и приводит к ряду осложнений в процессе эксплуатации.

На работу насоса также оказывает влияние и нефть. Поскольку в состав нефти входят эмульгаторы – асфальтены и смолы, нефть склонна к образованию эмульсий. Глина и песок, выпадающие с поверхности или из пласта, также способствуют этому. Поскольку вязкость и устойчивость эмульсии зависят от дисперсности водонефтяных смесей, а глубинные насосы относятся к числу лучших диспергаторов, то при прохождении жидкости через рабочие детали насоса образуется эмульсия, вязкость которой может быть увеличена в десять раз по сравнению с чистой нефтью. Влияние всех этих факторов неоднозначно, и поэтому его установление статистическим путем затруднительно, а зачастую и невозможно. В таких случаях применение теории нечетких множеств позволяет установить искомую связь.

Для установления связи между показателями эффективности работы насоса и соответствующими факторами, характеризующими режимы эксплуатации скважин, нами была проведена классификация режимов работы по нескольким признакам с использованием программы нечеткого кластерного анализа. В данном случае был проведен кластер-анализ с использованием алгоритма FCM-кластеризации, описанного в статье [3]. В качестве таких признаков, которые использовались для кластеризации, были выбраны обводненность, дебит жидкости, содержание механических примесей и коэффициент продуктивности (входные переменные) месторождения Каражанбас; в качестве выходных переменных были взяты межремонтный период и коэффициент расхода.

В настоящее время задачи кластерного анализа или автоматической классификации широко применяются в различных областях, в частности в экономике, социологии, медицине, геологии и других отраслях, где существуют множества объектов произвольного типа. В последние годы эти методы широко используются в задачах анализа данных. Традиционные методы кластер-анализа предполагают четкое разделение исходного множества на подмножества, при котором каждая точка после разделения входит только в один кластер. Однако, как известно, такое ограничение не всегда справедливо. Часто возникает необходимость сделать такое разбиение, которое позволяет определить степень

принадлежности каждого объекта к каждому множеству. В этом случае целесообразно использовать методы нечеткого кластерного анализа. Задачи в такой постановке вызывают интерес специалистов нефтепромысловой практики. Одним из важнейших результатов исследования работы насосов в процессе эксплуатации является определение коэффициента расхода и межремонтного периода. В результате использования этой программы было получено три кластера. Анализ результатов кластеризации показал, что между некоторыми кластерами нет существенной разницы по обводненности и показателю продуктивности. Поэтому эти параметры были объединены и охарактеризованы данными двух уровней. Их ценности выражаются словами: низкий и высокий.

В результате реализации предложенного подхода были получены однородные группы данных – кластеры, результаты представлены в графическом виде в работе [10] и в таблице 1. В ней показано относительное соответствие входных и выходных переменных.

Анализ результатов кластеризации показал, что для некоторых входных переменных возможно выделение классов по их ассоциациям, в результате чего уменьшается количество уровней их значений. Так, для обводненности можно выбрать два уровня: низкий и высокий; по расходу жидкости – низкий, средний и высокий; по коэффициенту продуктивности – низкий и высокий; по содержанию механических примесей – низкое, среднее и высокое. То же самое относится и к выходным переменным: время выполнения работ – низкое, среднее и высокое; коэффициент подачи насоса – низкий, средний и высокий.

Таблица 1 – Соответствие между входными и выходными переменными

Обводненность	Дебит жидкости, т/день	Показатель продуктивности, т/день, МПа	Содержание механических примесей, %	Межремонтный период, дни	Коэффициент подачи насоса (расхода)
низкая	низкий	низкий	высокое	низкий	низкий
			низкое	средний	средний
высокая	средний	низкий	низкое	высокий	высокий
		высокий	высокое	высокий	высокий
	высокий	низкий	среднее	высокий	высокий

Заключение. По соответствию входных и выходных переменных сформулированы нечеткие правила. Это соответствие позволяет задавать межремонтный период и режим эксплуатации насоса в различных геологических условиях.

Применение кластер-анализа помогает качественно оценить влияние отмеченных выше факторов на показатели эффективности работы насосов. Таким образом, результаты анализа позволяют сформулировать нечеткие правила по принципу «если...то...», а именно:

ЕСЛИ обводненность низкая И дебит жидкости низкий И показатель продуктивности низкий И содержание механических примесей высокое, ТО межремонтный период низкий и коэффициент подачи насоса низкий.

ЕСЛИ обводненность низкая И дебит жидкости низкий И показатель продуктивности низкий И содержание механических примесей низкое, ТО межремонтный период средний и коэффициент подачи насоса средний.

ЕСЛИ обводненность высокая И дебит жидкости средний И показатель продуктивности низкий И содержание механических примесей низкое, ТО межремонтный период высокий и коэффициент подачи насоса высокий.

ЕСЛИ обводненность высокая И дебит жидкости средний И показатель продуктивности высокий И содержание механических примесей высокое, ТО межремонтный период высокий и коэффициент подачи насоса высокий.

ЕСЛИ обводненность высокая И дебит жидкости высокий И показатель продуктивности низкий И содержание механических примесей среднее, ТО межремонтный период высокий и коэффициент подачи насоса высокий.

В результате анализа причин отказов глубинных насосов были установлены факторы, влияющие на эффективность работы насоса на рассматриваемых месторождениях и подвергнуты нечеткому кластерному анализу, позволяющему получить представление о влиянии выбранных факторов на показатели эффективности в условиях неопределенности.

Во многих случаях информация об этих геологических объектах и критериях неполна, разнообразна, имеется неопределенность в оценке объектов по критериям. Поэтому статистические методы в данном случае не подходят, а использование точного численного измерения сходства может привести к ошибкам. Применение нечеткого кластерного анализа позволяет решить задачу оценки влияния геологических и технологических факторов на эффективность работы насосов.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Еремин Н.А. Современная эксплуатация месторождений нефти и газа. Умный колодец. Интеллектуальное месторождение нефти. Виртуальная компания. Москва, «Недра-бизнес-центр», 2008. 244 с.

[2]. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2002. 268 с.

[3]. Aliev RA, Guirimov BG. Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications. <http://www.springer.com/us/book/9783319090719>

[4]. Демидова ЛА, Коняева ЕИ. Кластеризация объектов с использованием FCM-алгоритма на основе нечетких множеств второго типа и генетического алгоритма. Вестник РГРЭУ, №4 (выпуск 26). Рязань, 2008.

[5]. Mohaghegh S. Virtual intelligence and its applications in petroleum engineering. J. Pet. Technol. Distinguished Author Series (2000)

[6]. Zadeh L A. "Fuzzy Sets", "Information and Control", Vol. 8, p. 338-353, 1965.

[7]. Nikravesh Masoud, Dobie Chuck A., Patzek Tad W. Field-Wise Waterflood Management in Low Permeability, Fractured Oil Reservoirs: Neuro-Fuzzy Approach. SPE 37523, SPE International Thermal Operations & Heavy Oil Symposium held in Bakersfield, California, U.S.A., 10-12 February 1997.

[8.] Ghallab SA, Badr N, Salem AB, Tolba MF. A Fuzzy Expert System For Petroleum Prediction. In: WSEAS, Croatia, vol. 2, p. 77-82 (2013)

[9]. Еремин Н.А. Моделирование залежей углеводородов с использованием методов нечеткой логики. Москва, «Наука», 1994, 462 с.

[10]. М.К. Karazhanova, I.A. Piriverdiyev. Analysis of the Impact of Operating Conditions of Pumps on their Efficiency Indicators Using Fuzzy Clustering Algorithm. Procedia Computer Science, Volume 102, 2016, Pages 163-167, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.384>.

REFERENCES

[1].Yeremin NA. Modern oil and gas fields exploitation. Smart well. Intelligent oilfield. Virtual company. Moscow, "Nedra-business center", 2008, 244 p. [in Russian]

- [2].Altunin AE , Semukhin MV. Models and algorithms of decision-making in fuzzy conditions: Monograph. Tyumen: Publishing of Tyumen State University, 2002, 268 p. [in Russian]
- [3].Aliev RA, Guirimov BG. Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications. <http://www.springer.com/us/book/9783319090719>
- [4].Demidova LA, Konyaeva EI. Clustering of objects using FCM algorithm on the basis of type-2 fuzzy sets and genetic algorithm. Vestnik of RSREU, v4 (Issue 26). Ryazan, 2008. – [in Russian]
- [5].Mohaghegh S. Virtual intelligence and its applications in petroleum engineering. J. Pet. Technol. Distinguished Author Series (2000)
- [6].Zadeh L A. "Fuzzy Sets", "Information and Control", Vol. 8, p. 338-353, 1965.
- [7].Nikraves Masoud, Dobie Chuck A., Patzek Tad W. Field-Wise Waterflood Management in Low Permeability, Fractured Oil Reservoirs: Neuro-Fuzzy Approach. SPE 37523, SPE International Thermal Operations & Heavy Oil Symposium held in Bakersfield, California, U.S.A., 10-12 February 1997.
- [8].Ghallab SA, Badr N, Salem AB, Tolba MF. A Fuzzy Expert System For Petroleum Prediction. In: WSEAS, Croatia, vol. 2, p. 77-82 (2013)
- [9].Yeremin NA. Modelling of hydrocarbon deposits using fuzzy logic methods. Moscow, "Nauka", 1994, 462 p. [in Russian]
- [10].M.K. Karazhanova, I.A. Piriverdiyev. Analysis of the Impact of Operating Conditions of Pumps on their Efficiency Indicators Using Fuzzy Clustering Algorithm. Procedia Computer Science, Volume 102, 2016, Pages 163-167, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.384>.

М.К. Каразанова

Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті

Ақтау қ., Қазақстан.

Рузбе Г. Моганлу

Оклахома университеті, АҚШ.

И.А. Пиривердиев

Әзірбайжан ғылым және білім министрінің Мұнай және газ институты

Баку қ., Әзірбайжан Республикасы

МҰНАЙ КӘСІПШІЛІК ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ СЕНІМДІЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДА ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ

Аңдатпа. Мақала анық емес кластерлеу алгоритмін қолдана отырып, мұнай кәсіпшілігі жабдықтарының сенімділігіне әсер ететін факторлар арасындағы байланысты орнату және ақпаратты талдау нәтижелеріне арналған. Мұнай кәсіпшілік тәжірибесінің негізгі міндеттерінің бірі - кенорнын пайдалану тиімділігіне әртүрлі факторлардың әсерін бағалау және дұрыс технологиялық шешімдер қабылдау. Бағалаулар мен шешімдердің сенімділігі кіріс және шығыс айнымалылар және олардың мәндері қаншалықты сенімді таңдалғанымен анықталады. Жағдайлар көбінесе бірдей деректерді ескере отырып, түбегейлі әртүрлі нәтижелер алынған кезде туындайды. Осы тәуелділіктердің нақты өрнектерін және оларды сипаттайтын параметрлерді табу үшін, атап айтқанда, статистикалық мәліметтерді өңдеу әдістері қолданылады. Терең ұңғымалық сораптардың істен шығу себептерін талдау нәтижесінде қарастырылып отырған кенорындардағы сорап тиімділігіне әсер ететін факторлар анықталды және анық емес кластерлік талдау жүргізілді, бұл таңдалған факторлардың белгісіздік жағдайында сорғылардың тиімділік көрсеткіштеріне әсері туралы түсінік алуға мүмкіндік береді. Енгізу және шығыс айнымалылар арасында байланыс алынды, ол ЕГЕР-ОҢДА ережесінің анық емес өрнегі арқылы өрнектелуі мүмкін.

Кілт сөздер: сенімділік, шығын коэффициенті, жөндеу аралық мерзім, анық емес жиындар теориясы, анық емес кластерлік талдау.

M.K. Karazhanova

*Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov
Aktau, Kazakhstan*

Rouzbeh G. Moghanloo

University of Oklahoma, USA

I.A. Piriverdiyev

Institute of Oil and Gas under the Ministry of Education of Azerbaijan, Baku

ASSESSMENT OF OILFIELD EQUIPMENT RELIABILITY CHARACTERISTICS AND DECISION-MAKING UNDER UNCERTAINTY

Abstract. The article is devoted to the results of information analysis and the establishment of the relationship between factors affecting the reliability of oilfield equipment using a fuzzy clustering algorithm. One of the main tasks of oilfield practice is to assess the influence of various factors on the efficiency of field operation and make the right technological decisions. The reliability of estimates and decisions is determined by how reliably the input and output variables and their values are selected. Situations often arise when, given the same data, fundamentally different results are obtained. To find specific expressions of these dependencies and the parameters characterizing them, in particular, methods of statistical data processing are used. As a result of the analysis of the causes of failures of deep-well pumps, factors influencing the efficiency of the pump in the fields under consideration were identified and subjected to fuzzy cluster analysis, which allows us to gain an understanding of the influence of selected factors on efficiency indicators under conditions of uncertainty. A relationship was obtained between the input and output variables, which can be expressed by a fuzzy expression of the IF-THEN rule.

Keywords: reliability, liquid flow rate, turnaround time, fuzzy set theory, fuzzy cluster analysis.