

УДК 622.24

**Г. М. Эфендиев**, член-кор. НАН Азербайджана<sup>1</sup>;  
**И. И. Джанзаков**, д-р техн. наук<sup>2</sup>; **О. Г. Кириченко**, канд. техн. наук<sup>1</sup>; **И. А. Пиривердиев**<sup>1</sup>;  
**В. Ш. Гурбанов**, д-р геол.-мин. наук<sup>1</sup>; **С. К. Буктыбаева**, канд. техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт Нефти и Газа Национальной Академии наук Азербайджана, г. Баку*

<sup>2</sup>*Атырауский Университет Нефти и Газа, Республика Казахстан*

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН**

*Выполнен анализ результатов работы долот по показателям механической скорости и стоимости метра проходки. Возможны случаи принятия ошибочных решений при оценке влияния режимных параметров и типов долот на показатели бурения. Проведен анализ результатов бурения скважин различными типами долот и оценке риска принятия ошибочных решений.*

**Ключевые слова:** механическая скорость, стоимость метра проходки, риск, вероятность, последствия, кластер-анализ.

### **Введение**

При принятии и реализации технико-технологических решений в различных процессах, в том числе и процесса бурения скважин, существенную роль играет учет и анализ риска принятия неправильных решений и связанного с ним неблагоприятного исхода. Под риском здесь следует понимать возможность возникновения в процессе реализации решений неблагоприятных последствий, выраженных в виде временных или (и) финансовых потерь. Реализация решений в процессе бурения или осуществлении какого-то этапа, в частности, выбора долот, режимных параметров, оценки плотности бурового раствора, спуска обсадной колонны и др., имеет ряд особенностей. Основными особенностями, на наш взгляд, являются: наличие большого количества факторов, т. е. зависимость качества выполняемых работ от природных горно-геологических, технических, технологических факторов; неопределенность (размытость границ отдельных категорий рисков, многофакторность, неточность); постоянное изменение экономических показателей месторождения в районе ведения буровых работ; рост себестоимости материалов, необходимых при проведении тампонажных работ, работ по спуску обсадных колонн, реализации гидравлической программы. Реализация рассматриваемых проектов предполагает значительную неопределенность ожидаемых результатов и требует разработки мер по снижению рисков еще на стадии планирования работ с учетом неопределенности. Оценка риска носит комплексный характер и должна производиться на каждом этапе производства буровых работ. Основные этапы анализа причин, последствий и необходимых для предупреждения аварийных ситуаций мероприятий сведены в схему, приведенную на рис. 1, на основе анализа и обобщения результатов исследований, посвященных проблемам принятия технологических решений в бурении, оценке и анализу соответствующих рисков. Для выполнения указанных на рис. 1 мероприятий геолого-технологическая служба бурового предприятия должна осуществлять контроль за режимом бурения (посредством станции ГТК), буровым раствором, газопоказанием, составом шлама, чтобы своевременно выявить перспективный интервал. Все это проводится в процессе так называемых геолого-технологических исследований и позволяет снизить показатели (как количественные, так и качественные) риска.

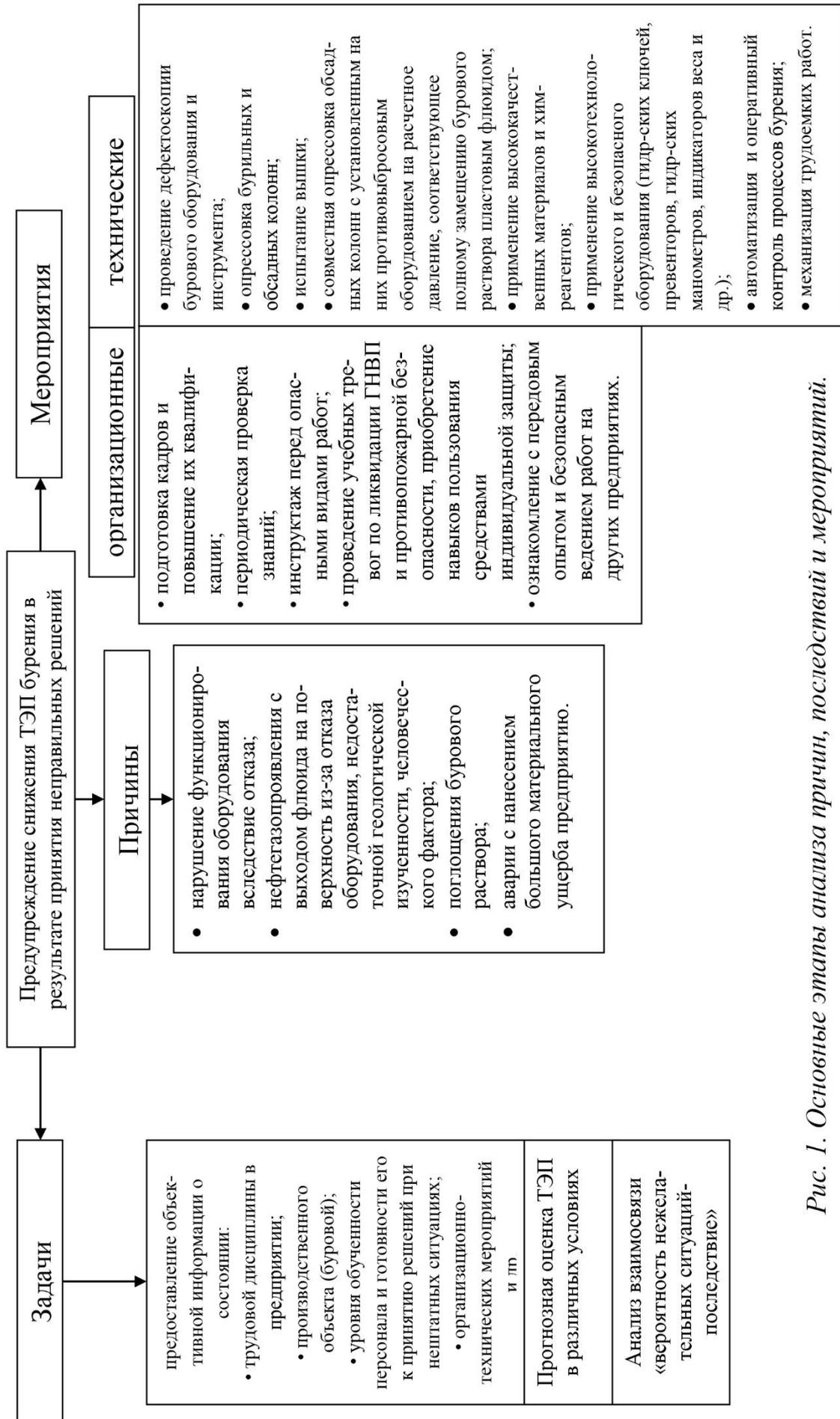


Рис. 1. Основные этапы анализа причин, последствий и мероприятий.

### Идентификация рисков

Процесс идентификации рисков состоит из следующих этапов (рис. 2): статистический анализ данных о бурении скважин, который состоит из сбора данных о геологических условиях и рассматриваемых событиях, процессе и обработки этих данных; анализ рисков, включающий идентификацию последствий и вероятностей их возникновения соответственно; анализ результатов; мероприятия по снижению риска.



Рис. 2. Схема оценки и управления рисками

Оценка риска реализации проекта тесно связана с готовностью ЛПР (лица, принимающего решение), идти на риск в связи с реализацией проекта [1]. Как отмечается в ряде работ [6], в процессе принятия конкретного решения лицу, принимающему решение, целесообразно различать и выделять определенные области (зоны риска) в зависимости от уровня возможных (ожидаемых) потерь. Попыткой восполнения существующих пробелов в этом направлении является привлечение дополнительной информации разработка на этой основе различного рода так называемых шкал риска, позволяющих производить классификацию риска потерь в результате принятия ошибочных решений. В литературе также отсутствует единый подход к формулировке критериев оценки и построения шкалы риска. Многообразие показателей, посредством которых осуществляется количественная оценка риска, порождает в свою очередь также и многообразие шкал риска, являющихся своего рода рекомендациями при определении приемлемости того или иного уровня риска. Так, на основании обобщения результатов исследований многих авторов по проблеме количественной оценки экономического риска, в [10] приведена эмпирическая шкала риска, которую рекомендуют применять предпринимателям при использовании ими в качестве количественной оценки риска вероятности наступления рискованного события.

Согласно данной шкале авторы выделяют в соответствии с вероятностями нежелательного исхода шесть градаций риска: минимальный – с вероятностью 0,0–0,1; малый – с вероятностью 0,1–0,3; средний – с вероятностью 0,3–0,4; высокий – с вероятностью 0,4–0,6; максимальный – с вероятностью 0,6–0,8; критический – с вероятностью 0,8–1,0. По мнению авторов, первые три градации вероятности нежелательного исхода соответствуют «нормальному», «разумному» риску, при котором рекомендуется принимать обычные, приобретённые из опыта, решения. Принятие решений с большим уровнем риска возможно в случае нежелательного исхода в виде возникающих аварий. В [9] приведена шкала, которая дает оценку степени риска при использовании в качестве количественного критерия риска параметров нормального распределения, т. е. среднего ожидаемого значения и среднеквадратического отклонения как меру изменчивости (колеблемости) возможного результата. Для оценки приемлемости отклонения используется коэффициент вариации, т. е. отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению. При этом приводятся следующие шкалы колеблемости (риска) коэффициента вариации: до 0,1 – слабая; от 0,1 до 0,25 – умеренная; свыше 0,25 – высокая. По мнению практически всех авторов, в границах коэффициента, определяющего риск, от 0,3 до 0,7

находится зона повышенного риска. Принятие решений о реализации рискованного мероприятия в границах этой зоны определяется величиной возможного выигрыша, в случае, если нежелательный исход (рискованное событие) не произойдет, и склонностью к риску лиц, принимающих решение. Как видно из рассмотрения отмеченных работ, риск характеризуется вероятностью. Однако при анализе риска наряду с вероятностью нежелательного исхода необходим также анализ последствий с их градацией по степени тяжести (рис.2). В связи с этим в ряде работ с осуществлением вероятностного подхода производится оценка риска на основе взаимосвязи между вероятностью и последствиями. Один из основных принципов оценки риска был сформулирован в 1967 г. Фармером [8]. Согласно данному принципу строится взаимосвязь между частотой (вероятностью) аварий (или нежелательных событий вообще) и их последствиями. При этом предложена зависимость между средним количеством выброса радиоактивных веществ в атмосферу и вероятностью настоящего события в виде гиперболической кривой, которая названа граничной, или кривой постоянного риска (она называется по имени автора – «кривая Фармера» [5]). Настоящая кривая делит координатную плоскость на две области и позволяет отделить область недопустимого, большого риска, расположенную выше и правее линии постоянного риска, от области допустимого риска, расположенной ниже и левее упомянутой линии. Впоследствии данный метод был использован при оценке также и риска аварий, возникающих при бурении скважин [2, 3].

Как известно, к значительному ухудшению показателей бурения скважин приводят также неправильно выбранные тип долота и режимные параметры, параметры бурового раствора: скорость проходки падает, а стоимость метра проходки увеличивается. Другими словами, несоответствие типов долот и режимных параметров свойствам разбуриваемых пород связано с риском потерь времени и средств. Как уже отмечалось, степень риска характеризуется вероятностью (частотой) неправильных по тем или иным причинам решений и их последствиями. В литературе имеется достаточно сведений о таком подходе к оценке риска [4, 5]. Как отмечалось выше, в процессе бурения скважин имеют место также ситуации с элементами неопределённости, не имеющие однозначного исхода (или решения). Данное обстоятельство усложняет процесс принятия решений в условиях неопределённости и предопределяет необходимость использования соответствующих методов, которые дают возможность по двум (или нескольким) критериям получить наиболее приемлемые для практики бурения скважин (оптимальные или рациональные) технико-технологические решения. В литературе в зависимости от степени неопределённости различают ситуации риска и ситуации неопределённости. При этом ситуация риска, являясь также разновидностью неопределённой ситуации, характеризуется тем, что в процессе реализации каждого действия могут быть получены различные результаты, вероятность которых известна или может быть оценена [6]. На методы принятия решений в условиях риска существенным образом накладывает отпечаток многообразие критериев и показателей, посредством которых оценивается уровень риска, и, как уже отмечалось, при этом принимаются решения как в условиях статистической, так и нестатистической неопределённости. Поэтому традиционные методы анализа и оценки рисков, основывающиеся лишь на вероятностных методах, с методологической точки зрения не совсем адекватны, в связи с чем в данных ситуациях более правильным и удобным является использование подходов, основанных на применении теории нечётких множеств.

#### **Анализ и оценка риска принятия ошибочных решений**

Руководствуясь общими методическими подходами, нами на основе вероятностно-статистического и нечёткого анализа информации о работе долот в различных условиях сделана попытка оценки риска. Для этого вначале были построены зависимости частоты появления различного уровня значений обобщённого показателя, принятого в качестве оценки последствий, от его значений, т.е. матрица «частота-последствия», или как иначе называют её в литературе, кривая постоянного риска. Такие кривые строятся для каждого выделенного на основе анализа однородного интервала бурения. На рис. 3 в качестве примера показана одна из таких кривых.

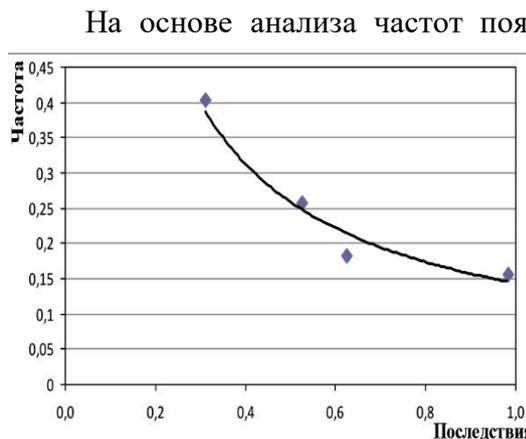


Рис. 3. Взаимосвязь между частотой неправильно принятых решений и обобщённым показателем последствий (кривая постоянного риска)

На основе анализа частот появления различных значений показателей бурения и последствий проводится классификация рисков по категориям. С целью оценки риска от несоответствия техники и технологии геологическим условиям при бурении скважин с учётом положений, отмеченных в различных, в частности, отмеченных выше исследованиях, нами предлагается следующий подход: сбор и статистическая обработка данных;

- проведение классификации по комплексу признаков, характеризующих показатели бурения;
- объединение признаков в единый параметр, с учётом весового вклада каждого признака следующим образом:

$$N = \alpha v + (1 - \alpha) c, \quad (1)$$

где N-обобщённая характеристика эффективности,  $\alpha$ -весовой коэффициент скорости проходки, а для стоимости проходки весовой коэффициент будет равен  $(1-\alpha)$ ; v- механическая скорость; c-стоимость метра проходки;

- построение зависимости частоты значений последствий от параметра, характеризующего последствия (обобщённой характеристики последствий);
- аппроксимация данной зависимости;

Эта зависимость для рассмотренного случая аналитически аппроксимируется следующим образом:

$$p = 0,1429N^{-0,853} \quad (2)$$

### Анализ и интерпретация

В процессе такого анализа производится также классификация вероятностей (частот), последствий и рисков. Риск рассчитывается как произведение вероятности возникновения аварийной ситуации на обобщённую характеристику последствий, с показателем степени, равным степени гиперболической зависимости, описывающей кривую риска. По собранным фактическим данным и результатам прогнозных расчётов показателей бурения различными долотами при разных режимных параметрах предварительно проведена статистическая обработка с анализом законов распределения. Анализу были подвергнуты значения механических скоростей и стоимостей метра проходки. По этим значениям с применением программы кластер-анализа массив разделён на четыре класса. Для этого была использована программа нечёткого кластер-анализа [7]. С помощью приведённого выше выражения рассчитывается обобщённый показатель эффективности. Далее для каждого кластера находится количество данных, входящих в него (частота) и строится кривая риска. Ранее применительно к авариям в бурении были изложены результаты аналогичного анализа и приведены значения отмеченных интервалов, соответствующая частота аварий, материальные затраты, а также рассчитанные значения рисков [2]. Реализация данной программы позволяет с помощью функций принадлежности отнести данные к тому или иному классу [3]. Выделенные таким образом кластеры показывают степень тяжести последствий от неправильно принятых решений, которая в нашем случае может быть выражена с помощью следующих слов: очень низкие, низкие, нормальные, наилучшие. Степень тяжести заключается в непроизводительных затратах времени и средств. Такая оценка риска способствует наиболее обоснованному выбору техники и технологии бурения скважин, а также планированию необходимых мероприятий по снижению риска ещё на стадии проектирования, позволяя наиболее правильно спланировать распределение материальных средств. Выборка из данных о значениях признаков для каждого класса показана в табл. 1. Исходя из того, что последствия аварий выражаются двумя признаками, при анализе и оценке риска целесообразно их одновременное использование. В связи с этим нами предлагается рассмотрение обобщённого показателя, выражающего последствия аварий, снижения

скорости, увеличения стоимости таким образом одновременно учитывающего как затраты времени на непроизводительные операции, так и связанные с этим потери средств.

Таблица 1. Выборка из данных о значениях признаков для каждого класса

Классификационные признаки		Функция принадлежности			
Механич. скорость	Стоим. 1м проходки	Кластеры			
в относительных единицах		1	2	3	4
0,611815	0,536928	1	0	0	0
0,559260	0,500305	0,985	0,0114	0,0024	0,0012
0,745335	0,609036	0,9573	0,0066	0,0046	0,0315
0,106381	0,378291	0,0384	0,7074	0,2457	0,0084
...	...	...	...	...	...

В табл.2 приведено качественное и количественное соответствие вероятностей принятия неправильных решений.

Таблица 2. Качественные и количественные оценки вероятности (частоты) последствий неправильного принятия решений по выбору долот и режимных параметров

Категории вероятности (частоты) события	Качественное определение	Количественная оценка
Частые	Потери из-за ошибочных технологических решений – довольно частое событие	>0,45
Вероятные	Потери, связанные с ошибочным решением – событие, происходящее несколько раз	0,30-0,45
Возможные	Возможно, могут иметь место случаи ошибочных решений, но не часто	0,15-0,30
Редкие	Ошибочное решение является редким, но всё же не исключается	<0,15

При оценке случаев приемлемости риска с помощью результатов статистического анализа находится вероятность, оцениваются результаты, количественно характеризующие последствия, точка наносится на координатную плоскость рис. 3, и по ее положению относительно кривой постоянного риска оценивается приемлемость (или неприемлемость) риска. На рис. 4 показана зависимость частоты (вероятности) неправильно принятых решений

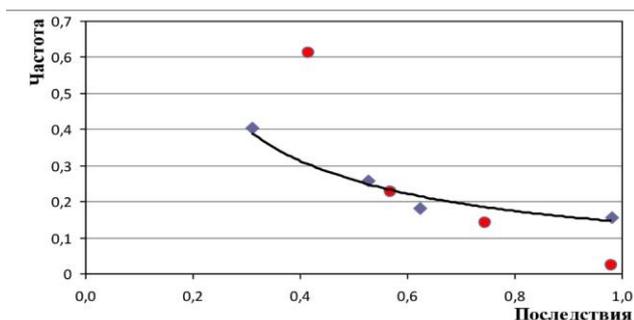


Рис. 4. Зависимость частоты неправильно принятых решений от обобщенного показателя последствий (кривая постоянного риска).

вариантов сочетаний последствий и вероятностей.

от обобщенного показателя последствий с нанесенными на координатную плоскость точками (красные точки). Результаты расчетов значений риска с учетом разных вариантов значений обобщенного показателя последствий и соответствующих вероятностей приведены в табл. 3. Для этого параметр  $N^{0,853}$  умножается на отмеченную вероятность. С целью дальнейшей классификации рисков аварий данный показатель риска был рассчитан для всех возможных

Таблица 3. Взаимное соответствие последствий и вероятностей

Показатели (категории последствий)	Категории вероятности (частоты) события			
	Частые	Вероятные	Возможные	Редкие
Очень низкие	0,397	0,254	0,179	0,154
Низкие	0,270	0,173	0,122	0,105
Нормальные	0,233	0,149	0,105	0,091
Наилучшие	0,149	0,095	0,067	0,058

Отмеченные выше категории степени тяжести ошибочно принятых решений (последствия) характеризуются следующим образом.

Таблица 4. Результаты классификации последствий

Классификационные признаки		Степень тяжести последствий (показатели)	Кластер
Механическая скорость	Стоимость 1м проходки		
в относительных единицах			
0,127–0,405	0,116–0,518	очень низкие	3
0,152–0,485	0,542–0,892	низкие	2
0,399–0,867	0,331–0,575	нормальные	1
0,436–0,936	0,052–0,119	наилучшие	4

Для характеристики вероятности (частоты) нежелательных последствий в связи с ошибочно принятыми решениями целесообразно использовать не только количественные, но и качественные оценки. Категории вероятностей и последствий указаны в табл. 2 и 4. С учётом отмеченного и использованием фактических данных устанавливается соответствие последствий и вероятностей и оценивается категория риска [3], согласно чему, выделено четыре категории (высокий, средний, умеренный, низкий) (табл. 5). Высокий уровень риска, например, может быть идентифицирован для очень серьёзных последствий частых и вероятных событий (коэффициенты равны 1 и 3 соответственно) или для серьёзных последствий частого события (коэффициент равен 2).

Таблица 5. Результаты классификаций рисков

Категория риска	Количественная оценка риска	Качественные характеристики риска
1	1–3	Высокий
2	4–7	Средний
3	8–12	Умеренный
4	13–16	Низкий

Выше было отмечено, что участок, расположенный выше, относительно кривой постоянного риска, является зоной недопустимого (неприемлемого) риска, а ниже – расположена зона допустимого (приемлемого) риска. Однако и в данном случае могут иметь место различные градации риска, то есть точки, попавшие в область недопустимого риска, не

всегда будут относиться к одной категории риска. Согласно классификации рисков, в пределах каждой из этих зон также выделяются разные категории рисков.

Таким образом, предложен вероятностно-нечеткий подход к оценке риска принятия ошибочного решения с учетом многокритериальности условий принятия решений, включающий классификацию вероятностей ошибочных решений, их последствий и возникающих при этом рисков.

*Виконано аналіз результатів роботи доліт за показниками механічної швидкості і вартості метра проходки. Можливі випадки прийняття помилкових рішень при оцінці впливу режимних параметрів і типів доліт на показники буріння. Проведений аналіз результатів буріння свердловин різними типами доліт і оцінці ризику прийняття помилкових рішень.*

**Ключові слова:** механічна швидкість, вартість метра проходки, ризик, ймовірність, наслідки, кластер-аналіз.

### ANALYSIS AND ESTIMATION OF EFFECTIVENESS OF DECISIONS DURING DRILLING WELLS

*The analysis of results of the bit operation on the parameters of the rate of penetration and the cost of the penetration meter has been performed. There are cases of making erroneous decisions when assessing the influence of regime parameters and bit types on drilling performance. In this regard, the report is devoted to analyzing the results of drilling wells with different types of bits and assessing the risk of making erroneous decisions.*

**Key words:** rate of penetration, cost per meter of penetration, risk, probability, consequences, cluster analysis.

#### Литература

1. Крушвиц Л. Инвестиционные расчеты. – СПб: Питер, 2001. – 432 с.
2. Эфендиев Г. М., Джафаров К. А. Анализ аварий при бурении и оценка риска их возникновения // Известия НАН Азербайджана, науки о Земле. – 2008. – № 3. – С. 52–55.
3. Хисметов Т. В., Эфендиев Г. М., Джафаров К. А., Абдиров А. А. Анализ и оценка степени риска аварий при бурении скважин // Нефтяное хозяйство. – 2009. – № 10.
4. Караев Р. Н. Выживание на море. – Баку: Элм, 2000. – 192 с.
5. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. / Пер. с англ. В. С. Сыромятникова, Г. С. Деминой. Под общ. ред. В. С. Сыромятникова – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
6. Гранатуров В. М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения: Учебное пособие. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 1999. – 112 с.
7. Bezdek J. C., Ehrlich and Full W. The fuzzy c-means clustering algorithm // Computers and Geosciences. – 1984. – N 10. – P. 191–203.
8. Farmer, F. R. ed.. Siting criteria - a new approach. In Containment and siting nuclear power plants // International Atomic Energy Agency. – Vienna, 1967. – P. 303–329.
9. Балабанов И. Т. Риск – менеджмент. – М.: Финансы и статистика, 1996.
10. Лапуста М. Г., Шаршукова Л. Г. Риски в предпринимательской деятельности. – М.: ИНФРА-М, 1998.

Поступила 31.07.17