

УДК 665.644-027.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0030

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

© Автор(ы) 2022

ORCID: 0000-0002-2885-2489

ИСМАГИЛОВ Миннахмат Иригович, кандидат технических наук, доцент*Уфимский государственный нефтяной технический университет**(450064, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, улица Космонавтов, 1, e-mail: IsmagilovMI@rambler.ru)*

SPIN: 2075-4704

AuthorID: 217872

ORCID: 0000-0001-7827-7294

БАРАХНИНА Вера Борисовна, кандидат технических наук, доцент*Уфимский государственный нефтяной технический университет**(450064, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, улица Космонавтов, 1, e-mail: verarosental@rambler.ru)***ЮСУПОВА Алия Булатовна**, магистрант*Уфимский государственный нефтяной технический университет**(450064, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, улица Космонавтов, 1, e-mail: hasanovaalia81@mail.ru)*

Аннотация. В данной статье были рассмотрены основные опасные и вредные факторы (ОВПФ), действующие на работников буровых предприятий в процессе приготовления буровых растворов (БР). Многообразие и изменчивость ОВПФ обуславливает необходимость разработки стратегии повышения безопасности процесса приготовления БР с учетом ключевых показателей безопасности. Для разработки алгоритма повышения промышленной безопасности исследуемого процесса была поставлена цель – определить значимость ключевых показателей безопасности, а также факторов, негативно влияющих на жизнь и здоровье работников, занятых процессе приготовления БР. В задачи следования входили: анализ аварийности и выявление основных ОВПФ процесса бурения; обоснование выбора ключевых факторов безопасности; разработка предложений по повышению уровня промышленной безопасности и охраны труда при приготовлении БР. Методом экспертного опроса, в котором приняли участие почти два десятка специалистов российских вертикально-интегрированных нефтяных компаний, были определены весовые значения ключевых показателей безопасности (и их подфакторов). Весовое значение характеризовало то, насколько сильно влияет тот или иной фактор на уровень безопасности процесса приготовления БР. После обработки экспертных оценок был разработан метод оценки уровня безопасности буровой установки, учитывающий все нюансы технологического процесса, а именно: технологические параметры, состояние оборудования, токсикологические и физико-химические свойства обращающихся веществ и применяемых химических буровых реагентов. Каждый ранг характеризовал степень безопасности условий труда работников буровых предприятий. В дальнейшем на основании ранжирования различных технологий приготовления БР возможна разработка мероприятий для повышения уровня охраны труда и промышленной безопасности процесса строительства скважин.

Ключевые слова: опасные и вредные производственные факторы, химические реагенты, строительство нефтяных и газовых скважин, промышленная безопасность, охрана труда.

**DETERMINATION OF THE SIGNIFICANCE OF KEY SAFETY INDICATORS
OF THE DRILLING FLUID PREPARATION PROCESS**

© The Author(s) 2022

ISMAGILOV Minnakhmat Irigovich, associate professor**BARAKHNINA Vera Borisovna**, associate professor**YUSUPOVA Aliya Bulatovna**, master degree student*Ufa State Petroleum Technological University**(450064, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov Street, 1,**e-mails: IsmagilovMI@rambler.ru, verarosental@rambler.ru, hasanovaalia81@mail.ru)*

Abstract. In this article, the main dangerous and harmful factors (DHF) that affect the workers of drilling enterprises in the process of preparing drilling fluids (DF) were considered. The diversity and variability of the DHF necessitates the development of a strategy to improve the safety of the DR preparation process, taking into account key safety indicators. To develop an algorithm for improving the industrial safety of the process under study, the goal was to determine the significance of key safety indicators, as well as factors that negatively affect the life and health of workers involved in the preparation of DR. The follow-up tasks included: analysis of accidents and identification of the main DHF of the drilling process; rationale for the selection of key safety factors; development of proposals to improve the level of industrial safety and labor protection in the preparation of DR. Using the method of an expert survey, which was attended by almost two dozen specialists from Russian vertically integrated oil companies, weighted values of key safety indicators (and their subfactors) were determined. The weight value characterized how strongly one or another factor influences the

safety level of the DR preparation process. After processing expert assessments, a method was developed for assessing the safety level of a drilling rig, taking into account all the nuances of the technological process, namely: technological parameters, equipment condition, toxicological and physico-chemical properties of the substances in circulation and the chemical drilling reagents used. Each rank characterized the degree of safety of working conditions for employees of drilling enterprises. In the future, based on the ranking of various DR preparation technologies, it is possible to develop measures to improve the level of labor protection and industrial safety of the well construction process.

Keywords: hazardous and harmful production factors, chemical reagents, construction of oil and gas wells, industrial safety, labor protection.

Для цитирования: Исмагилов М.И. Определение значимости ключевых показателей безопасности процесса приготовления буровых растворов / М.И. Исмагилов, В.Б. Барахнина, А.Б. Юсупова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 3(59). – С. 193-198. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1159-0030.

Введение. Безопасность процесса приготовления буровых растворов (БР) зависит от токсикологических свойств применяемых химических реагентов, рецептуры раствора (эффект суммации), параметров технологического оборудования, условий приготовления и обращения жидкостей и др. [1-6].

Обзор источников вредностей и опасностей процесса приготовления БР приведен на рисунке 1 [18, 21-24].

К химическим вредным факторам производства можно отнести буровые реагенты на основе целлюлозы, углеводов (РУО), КМЦ, карбоксиметилгидроксицеллюлозы, гидроксиэтилцеллюлозы, крахмала, высших жирных спиртов, СПАВ, лигно-сульфонатов, ксантановой смолы, пропиленгликоля, лигнина, сульфированного асфальта, полигликолей,

гуминовых кислот, бурого угля, природных жиров, полиэтиленоксида, кислот таловых масел, фенолов, аминов, нитрилодиметилфосфоновой кислоты, трибутилового спирта, акрилатов, высших жирных кислот, квебрахо, сулькорра, окисленного лигнина, различные неорганические соли, кислоты и щелочи. Многие компоненты БР, включая соли тяжелых металлов, при попадании в организм работника действуют как метаболитные яды [13-15, 20].

Большое количество и изменчивость вредных и опасных факторов процесса обуславливает необходимость разработки стратегии повышения безопасности процесса приготовления БР с учетом ключевых показателей безопасности [7, 16] (рис. 2). Определить весовые значения ключевых показателей предлагается методом экспертного опроса.



Рисунок 1 – Анализ вредных и опасных факторов процесса приготовления БР [10, 14]

Целью данной работы явилось определение значимости ключевых показателей безопасности процесса приготовления БР для выработки стратегии повышения промышленной безопасности и охраны труда при строительстве нефтегазовых скважин.

Методология. Для определения числовых показателей ключевых факторов безопасности проводили опрос экспертов в области промышленной

безопасности и охраны труда при строительстве нефтяных и газовых скважин [17]. Данный метод заключался в анкетировании группы заранее подготовленных специалистов ПАО АНК «Башнефть» и ПАО «Газпром».

На основании обработки результатов анкетирования определяли количественную оценку фактора [5, 19].

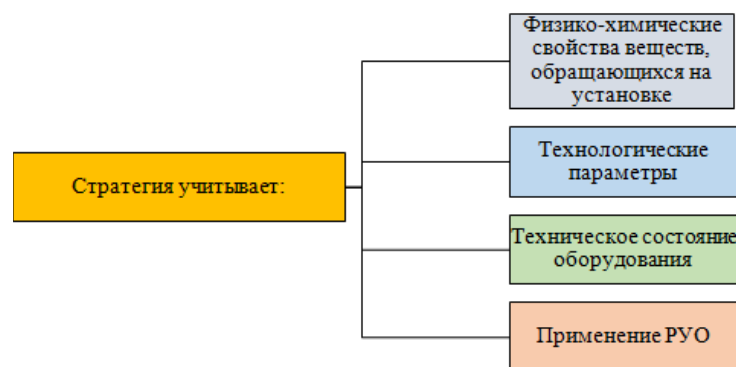


Рисунок 2 – Преимущества усовершенствованного метода оценки промышленной безопасности и охраны труда процесса приготовления БР [19, 20]

Этапы экспертного опроса: выбор экспертов, формирование вопросов; составление анкет, проведение опроса среди экспертов, анализ экспертных оценок, обработка экспертных оценок и выдача рекомендаций [6, 10-12]. Определить весовые значения ключевых показателей, оказывающих наибольшее влияние на уровень безопасности, предлагалось следующим образом: составление матрицы «эксперты-факторы», в которой проставлены балльные оценки весового значения по каждому ключевому показателю безопасности → расчет относительной значимости ключевых показателей безопасности и подфакторов для каждого эксперта → расчет средней оценки каждого ключевого показателя безопасности для группы из 15 экспертов, данного всеми экспертами в совокупности. Значение того или иного показателя специалистам предлагалось по пятибалльной шкале.

Результаты. Сначала эксперты определяли ключевые показатели безопасности процесса. Затем каждый ключевой показатель разбивался на подфакторы, и экспертам предлагалось оценить значимость каждого отдельного подфактора. [8]. Рассмотрим алгоритм определения весового значения каждого фактора на примере двух экспертов (табл. 1 и рис. 3).

Затем рассчитывали относительную значимость факторов для каждого эксперта. Для этого оценки, полученные от отдельного эксперта, суммировали, и высчитывали относительную значимость: $X_{11} = 3/12 = 0,25$; $X_{12} = 5/12 = 0,42$; $X_{13} = 4/12 = 0,33$; $X_{21} = 4/12 = 0,33$; $X_{22} = 5/12 = 0,42$; $X_{23} = 3/12 = 0,25$.

Далее находили численное значение ключевого показателя безопасности – среднее арифметическое для каждого фактора.

$$X_1 = (0,25+0,33)/2 = 0,29; X_2 = (0,42+0,42)/2 = 0,42; X_3 = (0,33+0,25)/2 = 0,29.$$

Аналогично были обработаны результаты оценки всех (15) экспертов по каждому ключевому фактору. Результаты представлены на рисунке 4.

Таблица 1 – Весовые значения факторов по результатам экспертного опроса

Эксперт	Фактор		
	1 Фактор	2 Фактор	3 Фактор
1	3	5	4
2	4	5	3



Рисунок 3 – Весовые значения ключевых показателей безопасности после опроса двух экспертов



Рисунок 4 – Весовые значения ключевых показателей после обработки результатов опроса пятнадцати экспертов

Полученные данные свидетельствуют о том, что токсикологические свойства буровых реагентов (фактор 2) оказывают наиболее сильное влияние на уровень безопасности процесса приготовления БР.

Для уточнения степени влияния исследуемых ключевых показателей представлены результаты экспертного опроса по одиннадцати подфакторам (рис. 5-7).

Обсуждение. Полученные результаты наглядно отражают степень влияния каждого отдельного ключевого показателя безопасности и их подфакторов на уровень промышленной безопасности и охра-

ны труда процесса приготовления БР с учетом особенностей работы буровой установки. Далее осуществляли проверку согласованности суждений экспертов – определяли, насколько сильно различаются суждения специалистов. Согласованность суждений экспертов по ключевым факторам оценивали по коэффициенту конкордации. Применение данного коэффициента в рамках решаемой задачи являлось наиболее целесообразным, так как он используется при оценках в физических единицах факторов и балльных оценках. Коэффициент конкордации характеризует степень отклонения суждений экспертов от среднего значения коллективной оценки [19].

$K_{var} \leq 10\%$ – высокая согласованность мнений

экспертов;

$K_{var} \in [11-25]\%$ – средняя согласованность мнений экспертов;

$K_{var} \in [26-35]\%$ – согласованность мнений экспертов ниже средней;

$K_{var} > 35\%$ – низкая согласованность мнений экспертов.

Коэффициент конкордации (в %) вычисляли по следующей формуле:

$$K_{var} = \sigma / (C) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где K_{var} – коэффициент конкордации;

σ – среднее квадратическое отклонение оценок экспертов для данного подфактора;

C – средняя весовая оценка данного подфактора всеми экспертами (среднее арифметическое).



Рисунок 5 – Весовые значения подфакторов для фактора «Технологические параметры процесса»



Рисунок 6 – Весовые значения подфакторов для фактора «Токсикологические свойства буровых реагентов»



Рисунок 7 – Весовые значения подфакторов для фактора «Техническое состояние оборудования»

Определение коэффициента конкордации проводили для каждого подфактора в отдельности. Среднее квадратическое отклонение балльных оценок специалистов для каждого отдельного подфактора рассчитывали по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C)^2}{n}}, \quad (2)$$

где C_i – средняя весовая оценка (среднее арифметическое) данного подфактора для одного

эксперта;

n – количество экспертов.

Среднее арифметическое вычисляли по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{n} \quad (3)$$

Рассмотрим определение коэффициента конкордации для подфактора 1.1 «Вязкость БР» по результатам опроса всех пятнадцати экспертов ($n = 15$). Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчёт коэффициента конкордации по результатам оценки всех экспертов для подфактора 1.1 «Вязкость БР»

№ эксперта	Средняя весовая оценка подфактора 1.1 для одного эксперта (C_i), ед.	Средняя весовая оценка подфактора 1.1 всеми экспертами (C), ед.	Среднеквадратическое отклонение оценок экспертов для подфактора 1.1 (σ), ед.	Коэффициент конкордации $K_{\text{впр}}$, %
1	0,200	0,191	0,033	17
2	0,154			
3	0,091			
4	0,267			
5	0,286			
6	0,214			
7	0,176			
8	0,250			
9	0,273			
10	0,167			
11	0,071			
12	0,235			
13	0,083			
14	0,154			
15	0,200			

Аналогично вычисляется коэффициент конкордации для каждого подфактора, влияющего на опасность процесса приготовления БР (табл. 3).

Таблица 3 – Значения коэффициента конкордации для всех подфакторов по результатам оценки экспертов

Ключевой фактор (подфактор)	Коэффициент конкордации $K_{\text{впр}}$, %
1. Физико-химические свойства обрабатываемых веществ	
1.1 Вязкость БР	17
1.2 pH среды	9
1.3 Количество воды на разбавление	11
1.4 Температурный режим	15
2. Технологические параметры процесса	
2.1 Присутствие в рецептуре полиакриламида	6
2.2 Наличие лигносульфонатов	7
2.3 Растворы на углеводородной основе	9
2.4 Содержание феррохромлигносульфоната	10
3. Техническое состояние оборудования	
3.1 Наличие оборудования, работающего в коррозионно-агрессивной среде	10
3.2 Наличие оборудования, подверженного абразивному износу	10
3.3 Наличие оборудования, конструкция которого не соответствует особенностям технологического процесса	11

Таким образом, по подфакторам 1.1, 1.3, 1.4 и 3.3 согласованность суждений экспертов – средняя. По остальным подфакторам – высокая. Анализ математической обработки результатов экспертного опроса позволяет предложить следующую классификацию безопасности процесса приготовления БР по четырем рангам безопасности: 1-й – сумма всех ключевых показателей 2,0 и более; 2-й – сумма всех факторов от 1,5 до 2,0; 3-й – сумма всех факторов от 1,0 до 1,5; 4-й – сумма всех факторов менее 1,0.

Выводы. По мнению опрошенных экспертов, токсикологические свойства буровых реагентов оказывают наибольшее влияние на уровень безопасности процесса приготовления БР. Кроме того, в результате исследования выявлено значительное влияние подфакторов 2.1. (Присутствие в рецептуре полиакриламида), 2.3 (Растворы на углеводородной основе) и 2.4 (Содержание феррохромлигносульфоната). Очевидна необходимость разработки мето-

да оценки уровня безопасности исследованного техно-логического процесса, который учитывал бы особенности приготовления буровых растворов, а именно – применение безопасных химических реагентов. Использование БР на углеводородной основе стоит исключить из технологического процесса строительства нефтяных и газовых скважин из-за их пожаро- и взрывоопасности и токсичности для компонентов окружающей природной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балаба В.И. Экологическая безопасность технологического процесса промывки скважин / В.И. Балаба // Бурение и нефть. – 2004. – №3. – С. 36-38.
2. Баракхнина В.Б. Биостойкость некоторых буровых добавок на основе КМЦ и полиакриламида / В.Б. Баракхнина, Г.Г. Ягафарова, Е.Г. Ильина // Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Повышение качества строительства скважин», посвященная памяти профессора Мавлютова М.Р. – Уфа: Монография, 2005. – С. 223-226.
3. Баракхнина В.Б. Изучение биостойкости буровых реагентов на основе производных целлюлозы / В.Б. Баракхнина, Г.Г. Ягафарова, А.В. Чибирева, Д.В. Рахматуллин // Нефтегазовое дело – Т. 5. – №2. – 2007. – С. 151-154.
4. Баракхнина В.Б. Оценка биостойкости полимерных буровых химических реагентов компании Baroid Limited / В.Б. Баракхнина, Г.Г. Ягафарова, Д.В. Рахматуллин // Башкирский химический журнал. – Т. 14. – №5. – 2007. – С. 51-53.
5. Баракхнина В.Б. Сравнительная характеристика технологий переработки нефтесодержащих отходов бурения / В.Б. Баракхнина, Т.А. Исаев, И.Р. Киреев, Г.А. Рустембекова, Р.С. Сарманов. // Наука и образование Южного Казахстана, №3(82), 2010. – С. 66-71.
6. Басарыгин Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю.М. Басарыгин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 632 с.
7. Безносиков А.А. Развитие исследований и промышленных работ по использованию региональных сырьевых ресурсов, производств и отходов для строительства скважин (на примере Тимано-Печерской провинции). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ухта, 2002. – 24 с.
8. Безродный Ю.Г. Проблемы удаления отходов бурения скважин на Северном Каспии в свете природоохранительного законодательства России / Ю.Г. Безродный, А.А. Курапов, С.К. Монахов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2005. – №7. – С. 27-31.
9. Бродский А. Буровые растворы на углеводородной основе. / А. Бродский, А. Файнштейн // Бурение и нефть. – 2006. – №8. – С. 24.
10. Гарипов Р.Ф., Баракхнина В.Б., Шарафутдинова Г.М. Анализ рисков на основе результатов оценки культуры

безопасности. Безопасность труда в промышленности, – 2019. – №9. – С. 82-87.

11. Еникеева Т.М., Киреев И. Р., Барахнина В.Б. Физиология трудовой деятельности / УГНТУ, каф. ПБиОТ ; сост.: Т. М. Еникеева, И. Р. Киреев, В. Б. Барахнина. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2012. – 167 с.

12. Любимов В.С. Создание комплексных реагентов многофункционального назначения с целью повышения эффективности буровых работ в условиях Крайнего Севера. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2002. – 24 с.

13. Матыцин В.И. Концепция природоохранных мероприятий при бурении скважин /В.И. Матыцин // Бурение и нефть. – 2006. – №9. – С. 36-38.

14. Тагирова К.Б., Барахнина В.Б., Киреев И.Р., Коннов Я.А. Выявление возможного негативного воздействия бурового реагента «Брусит» на работников, задействованных в строительстве скважин. Безопасность труда в промышленности. – 2021. – №9. – С. 75-80.

15. Федосов А.В., Идрисова К.Р., Абдрахманов Н.Х., Муратова Р.Р., Валекжанин Д.Ю., Кулаков П.А. Промышленная безопасность при производстве буровых работ: учебное пособие. – Стерлитамак; Уфа: Вектор науки, 2020, – 149 с.

16. Федосов А.В., Барахнина В.Б. Учебно-методическое пособие для проведения практических работ по дисциплине «Управление рисками, системный анализ и моделирование». – Уфа: УГНТУ. 2016. – С. 48 с.

17. Хасанов И.Ю. Проблемы экологической безопасности при добыче и транспорте нефти и пути их решения /И.Ю. Хасанов, Г.Х. Габитов, Н.С. Волочков и др. //Нефтяное хозяйство. – 2003. – №3. – С.112.

18. Четвертнева И.А. Разработка многофункциональных добавок для повышения эффективности бурения и заканчивания скважин. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2003. – 23 с.

19. Шарафиев Р.Г., Ерофеев В.В., Киреев И.Р., Абдрахимов Ю.Р., Барахнина В.Б. Геоэкология и безопасность в техносфере /под. ред. Р.Г. Шарафиева и В.В. Ерофеева. Челябинск, Уфа: ЦНТИ, 2010. – 348 с.

20. Шарафиев Р.Г., Киреев И.Р., Ерофеев В.В., Барахнина В.Б. Энциклопедия безопасности жизнедеятельности / Р.Г. Шарафиев, В.Б. Барахнина, И.Р. Киреев, В.В. Ерофеев. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – 719 с.

21. Barachnina V.B., Kyismatullina D.D. The immobilization of alkane-trophic microorganisms on organic carriers for remediation of the oily ground. European journal of natural history. – 2009. – N2. – PP. 55.

22. Barachnina V.B., Yagafarova G.G., Ilina E.G., Yagafarov I.R. Results of biostability testing of some polymeric additives in the drilling water. Intellectual service for Oil and Gas Industry: analysis, solutions, perspectives. 4th Volume, Miskolk University, 2006. – PP. 193-196.

23. Gray J.S., Clarke K.R., Warwik R.M., Hobbs C. Detection of initial effects of pollution on marine benthos: an example from Ekofisk and Eldfisk oilfields. North Sea // Mar. Ecol. Progr. Ser. – 1990. – N3. – PP. 285-299.

24. Moiseychenko G.V. The influence of pollutions on sea while prospecting and developing (Exploitation) oil and gas deposits // Third Annual Meeting (PICES). 1994, – PP. 23-25.

Статья поступила в редакцию 30.08.2022

Статья принята к публикации 16.09.2022