
НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ

УДК:622.621:21

МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

© 2024 г. А. С. Ахмедов¹, М. С. Рагимова¹, *, Ф. М. Гафаров¹

¹Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности,
Баку, Азербайджан

*e-mail: rahimova_mahluqa@mail.ru

Поступила в редакцию 02.11.2023 г.

После доработки 10.01.2024 г.

Принята к публикации 19.02.2024 г.

Рассмотрено применение типовых схем расстановки функционирования цементировочного оборудования с использованием различного числа насосных и смесительных установок для обеспечения бесперебойного выполнения технологического процесса цементирования. Получена расчетная модель надежности функционирования различных типовых схем обвязок. Рассмотрены несколько типов схем обвязки по отдельности. Согласно функциональной схеме “агрегат–устье” готовый раствор откачивается установками непосредственно в скважину.

Ключевые слова: тампонажный раствор, надежность, особенные насосные установки, структурно-функциональные схемы, осреднительная емкость, типовые технологические схемы

DOI: 10.31857/S0235711924030068, EDN: PHBRPL

В настоящее время в различных нефтегазодобывающих регионах применяются типовые схемы расстановки функционирования цементировочного оборудования. Принципиальное различие этих схем заключается в использовании разного числа насосных и смесительных установок [1, 2]. В некоторых нефтегазовых районах разработаны “местные” схемы расстановки цементировочного оборудования, учитывающие специфические особенности геолого-технических и климатических условий данного района [3].

Наблюдения за процессом цементирования и анализ различных схем обвязок, показали, что они не обеспечивают достаточно надежную гарантию для бесперебойного функционирования оборудования, принимающего участие в “процессе”. Неприемлемым также является существующий принцип компоновки установок для выполнения конкретного процесса цементирования, основанный на использовании наличия парка тампонажной контуры, без учета технического состояния каждой из установок на момент начала процесса.

Для вычисления надежности подобных систем, группируем смесительные и насосные установки, и каждую группу рассматриваем как отдельную подсистему. Из-за недостаточного уровня надежности существующих установок, особенно насосных, для бесперебойности процесса, в схемах применяется резервирование насосных установок, которое в зависимости от применяемой конкретной схемы обвязки вступают в процесс по-разному [4].

Поэтому большой интерес представляют проводимые исследования по оценке надежности работы различных типовых схем обвязок, скомпонованных на основе использования различного числа насосных и смесительных установок для эффективного проведения процесса цементирования. Для оценки надежности работы различных типовых обвязок используются различные структурно-функциональные схемы [3, 5]. Каждая обвязка имеет свою функциональную схему соединения в зависимости от количества используемого оборудования и взаимодействия его между собой. Применяемые схемы обвязок можно охарактеризовать следующим образом: 1) при цементировании неглубоких скважин, в которых забойные (геологические) параметры: $t < 100^\circ\text{C}$; $P = 30\text{--}50$ МПа и где колебания плотности мало влияют на качество крепления скважин, не возникает необходимости применения осреднительной емкости. В этом случае в процессе участвует малое количество оборудования, следовательно, применяемые схемы обвязки являются относительно простыми; 2) при применении осреднительных емкостей, позволяющих получать тампонажный раствор с заданной плотностью, применимые схемы обвязки получают резко отличающуюся структурную форму соединения, т.к. наличие осреднительной емкости требует дополнительных установок для откачивания раствора из емкости в скважину. В то же время применение осреднительной емкости позволяет сократить число насосных установок, обслуживающих смесительные установки; 3) при цементировании глубоких скважин, требующих закачки большого объема тампонажного раствора, количество насосных и смесительных установок, принимающих участие в процессе, резко увеличивается. В таких случаях в схему обвязки включают передвижное устьевое оборудование — блок манифольда, который упрощает обвязку установок со скважиной, улучшает условия их работы и взаимодействие. При этом применяемые схемы обвязки принимают другую структурную форму соединения, резко отличающуюся от предыдущих типов [4].

Подобная классификация схем обвязок является условной. Оценка надежности функционирования приведенных схем обвязок проводится согласно структурных (расчетных) схем. С этой целью технологические схемы процесса цементирования представляются эквивалентными схемами, содержащими условные графические изображения отдельных установок, осуществляющих процесс цементирования, и связей между ними. Элементами эквивалентной схемы являются насосные установки (НУ), смесительные установки (СУ), блок манифольда (БМ), осреднительные емкости (ОЕ) и другие элементы, соединенные друг с другом последовательно и параллельно в зависимости от схемы функционирования. Эти схемы составляются по общим правилам теории надежности. Рассмотрим по-отдельности каждый тип схем обвязки.

Схема “агрегат—устье”. Согласно функциональной схеме, готовый раствор откачивается установками непосредственно в скважину (рис. 1).

При цементировании неглубоких скважин, например, при цементировании кондукторов, когда на нагнетательной линии наблюдаются небольшие рабочие давления, возле смесительной установки устанавливается по одной насосной установке.

При цементировании относительно глубоких скважин для приготовления раствора возле смесительной установки устанавливается по две насосные установки. Для удобства расчетов каждой установке присвоен определенный номер. В первом варианте (рис. 1) насосная установка соединена последовательно со смесительной установкой для подачи жидкости затворения в гидровакуумное смесительное устройство и приготовления цементного раствора. В этом случае вероятность отказа пары P_1 и P_2 , запишется в виде

$$Q(t) = 1 - P_1(t)P_2(t).$$

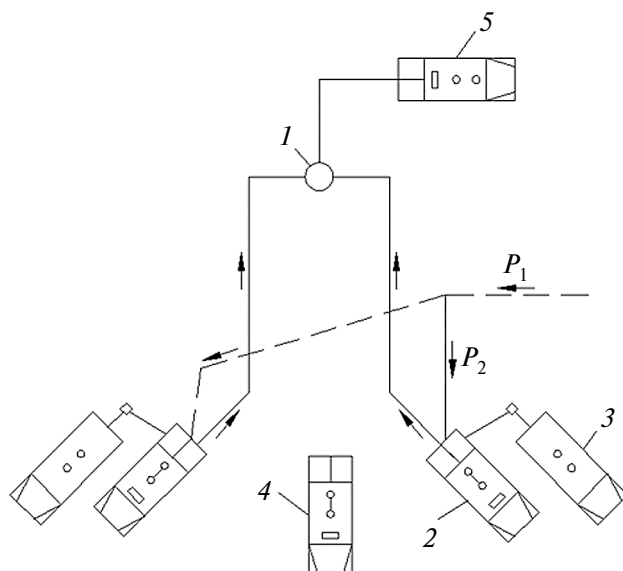


Рис. 1. Функциональная схема обвязки установок при цементировании кондукторов и неглубоких промежуточных колонн: 1 – скважина; 2 – насосная установка; 3 – смесительная установка; 4 – насосная установка резервного назначения; 5 – насосная установка, участвующая в продажке разделительной пробки.

Аналогично действует вторая пара

$$Q(t) = 1 - P_3(t)P_4(t).$$

Обе пары относительно друг друга соединены параллельно. В случае отказа одной пары 2, вторая пара 1, продолжает свое функционирование. При такой структурной схеме ненадежным считается насосная установка 5. Поэтому в схеме предусматривается одна запасная установка 4, для оперативного подключения в случае отказа. При таком соединении, запасная установка 4 является ненагруженным резервом. Вероятность отказа резервной установки

$$Q(t) = 1 - P_5(t).$$

Вся эта подсистема в последовательно соединена со скважиной 1. В схеме также предусмотрена отдельная насосная установка 5 (ЗЦА-400А), предназначенная для участия в продажке разделительной пробки.

При оценке надежности каждой структурной схемы исходим из надежности отдельных установок, принимающих участие в технологическом процессе. Вероятность успешного проведения технологической операции, согласно такой структурной схеме, запишется в виде

$$P_c(t) = \{1 - [1 - P_1(t)P_2(t)][1 - P_3(t)P_4(t)][1 - P_5(t)]\}P_6(t),$$

где $P_1(t)$ и $P_3(t)$ – вероятность безотказной работы насосных установок основного назначения; $P_2(t)$ и $P_4(t)$ – вероятность безотказной работы смесительных установок; $P_5(t)$ – вероятность безотказной работы насосной установки резервного назначения;

$P_6(t)$ – вероятность безотказной работы насосной установки, предназначенной для продавки разделительной пробки.

В случае отказа одной из подсистем, вторая продолжает работу. Отказавший агрегат замещается и включается крайний резерв. Подобное параллельное функционирование подсистем является нагруженным резервом, а запасные насосные установки являются скользящим резервом [6].

Таким образом в каждой подсистеме в последовательно-параллельном порядке соединены две насосные и одна смесительная установка для приготовления тампонажного раствора и по одной запасной установке в резерве, для своевременного включения в процесс в случае отказа.

Расшифровка функционирования по назначению установок в каждой подсистеме заключается в следующем. Насосная установка ЦА-320 последовательно соединена со смесительной установкой для подачи жидкости затворения в гидровакуумное смесительное устройство. В случае отказа ЦА-320 процесс приготовления тампонажного раствора временно срывается, при этом подключается установка резервного назначения [7, 8].

Насосная установка ЗЦА-400А соединена со смесительной последовательно, а относительно ЦА-320 действует параллельно для подачи, вместе с ЦА-320, готового цементного раствора в скважину. В случае отказа ЗЦА-400А, в процесс подключается резервный ЦА-320.

После затворения тампонажной жидкости в подсистеме готовый раствор поступает в осреднительную емкость, где перемешивается и отбирается группой насосных установок (ЗЦА-400) для дальнейшей подачи в коллектор блока манифольда. Каждый из ЗЦА-400А относительно установки усреднительной емкости функционирует последовательно, а по отношению друг к другу – параллельно, на одного потребителя, т.е. для подачи готового цементного раствора в напорный коллектор манифольда. При отказе любого из них включается резервная насосная установка. Отметим, что предусматриваемые две запасные установки ЗЦА-400А также являются скользящими резервами.

Устьевое оборудование (ИБМ-700), в свою очередь, параллельно соединено с каждой из четырех установок (ЗЦА-400А), и последовательно со скважиной, для нагнетания готового цементного раствора.

В рассматриваемом случае предусмотрено, что на практике каждая установка вступает в процесс в различном техническом состоянии. В частном случае, установки вступают в процесс в одинаковом техническом состоянии, т.е. в случае, когда скомплектованная система состоит только из новых машин или все они прошли капитальный ремонт.

Выводы. Исследования по разработке методов обеспечения бесперебойного выполнения технологического процесса цементирования позволяют сделать ряд теоретических и практических выводов. 1. Разработана методика выбора резервного состава комплекса цементировочного оборудования. 2. Рекомендованы составы насосных установок резервного назначения для случаев цементирования: кондукторов; неглубоких промежуточных колонн; глубоких скважин; с применением блока манифольда и осреднительной емкости. 3. Проведена условная классификация технологических схем и на ее основе функциональный и структурный анализ различных типовых схем обвязок, применяемых в процессе цементирования. Получены выражения, позволяющие оценить вероятность безотказной работы для конкретных технологических схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фролов А.А., Белей И.И.* Практика цементирования скважин на месторождениях Крайнего Севера: учеб. пособие; Изв. Вузов. Нефть и газ. 2000. № 5. С. 47.

2. *Овчинников В. П., Аксенова Н. А., Овчинников П. В.* Физико-химические процессы твердения, работа в скважине и коррозия цементного камня: Учебное пособие для вузов. Тюмень: Изд-во “Экспресс”, 2008. 368 с.
3. *Булатов А. И.* Технология цементирования нефтяных и газовых скважин. В двух томах. М.: “Недра”, 2002.
4. *Вяхирев В. И., Овчинников В. П., Овчинников П. В., Ипполитов В. В., Фролов А. А. и др.* Облегченные тампонажные растворы для крепления газовых скважин. М.: “Недра”, 2000. 134 с.
5. *Овчинников П. В., Кузнецов В. Г., Фролов А. А., Овчинников В. П., Шатов А. А., Урманчиев В. И.* Специальные тампонажные материалы для низкотемпературных скважин. М.: “Недра-Бизнесцентр”, 2002. 115 с.
6. *Овчинников В. П., Фролов А. А., Шатов А. А., Вяхирев В. И., Сорокин В. Ф., Овчинников П. В.* Солевые и тампонажные композиции на основе вторичных материальных ресурсов производства соды. М.: Недра, 2000. 214 с.
7. *Овчинников П. В., Кузнецов В. Г., Фролов А. А., Овчинников В. П., Шатов А. А., Урманчиев В. И.* Специальные тампонажные материалы для низкотемпературных скважин. М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2002. 115 с.
8. *Бухаленко Е. И., Бухаленко В. Е.* Оборудование и инструмент для ремонта скважин. М.: Недра, 1991. 336 с.