

УДК 621.234

ARTICLE HISTORY

Received 24.09.2021

Accepted 05.10.2021

Карьянский Сергей Анатольевич¹, Марьянов Денис Николаевич²
НУ «Одесская морская академия», Одесса, Украина
karikonma@gmail.com¹, denismaryanovv@gmail.com²

Регулирование плотности бурильной суспензии при её транспортировке судами класса Platform Supply Vessels

Karianskyi Sergey¹, Maryanov Denis²
NU “Odessa Maritime Academy”, Odessa, Ukraine
karikonma@gmail.com¹, denismaryanovv@gmail.com²

Regulation of the drilling fluids density during transportation vessels class Platform Supply Vessels

Резюме – Перевозка бурильных суспензий судами класса Platform Supply Vessels осуществляется на протяжении 2 ... 3 дней. За этот промежуток времени происходит латентное изменение плотности бурильной суспензии по глубине грузового танка. Стратификацию плотности бурильной суспензии предложено определять как относительное изменение плотности в верхней и нижней частях грузового танка. Экспериментально установлено, что стратификация плотности может достигать 31 %. Предотвращение стратификации плотности предложено обеспечить за счёт создания принудительной циркуляции бурильной суспензии между рядом находящихся грузовыми танками. Предложено регулирование и автоматическое поддержание плотности бурильной суспензии в диапазоне 2 ... 7 % за счёт использования программируемых контроллеров.

Abstract – Transportation of drilling fluids by Platform Supply Vessels is carried out in 2 ... 3 days. During this period of time there is a latent change of drilling fluid density along the depth of cargo tank. Density stratification is defined as a relative density change in the upper and lower parts of the cargo tank. It has been experimentally proved that the density stratification can reach 31 %. It is offered to prevent the density stratification by creating a forced circulation of the drilling fluid between cargo tanks which stand side by side. It is offered to regulate and maintain automatically the drilling fluid density in the range of 2 ... 7 % by using programmable controllers.

DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-52-62

Морские суда класса Platform Supply Vessels (PSV) используются в оффшорном флоте для обеспечения нефтяных и газовых платформ рабочими веществами (топливом, маслом, водой), сменными и запасными частями для двигателей и механизмов судовой энергетической установки, а также технологическим оборудованием и специальными техническими жидкостями (бурильными суспензиями) [1]. Бурильные суспензии являются неотъемлемой составляющей процесса добычи нефти. Их основное назначение – смазывание и охлаждение бура, а также отведение из зоны бурения твёрдого, глинистого или песчаного грунта. Для обеспечения этих процессов бурильные суспензии (основой которых являются минеральные масла) легируются неорганическими соединениями, удельный вес которых превышает удельный вес минерального масла [2]. Это обеспечивает повышение триботехнических характеристик бурильных суспензий и снижает энергетические потери при выполнении буровых работ [3 – 5]. Во время транспортировки бурильных суспензий судами класса PSV происходит постепенное осаждение этих элементов и изменение плотности бурильной суспензии по глубине грузового танка. Следствием этого является образование осадка, увеличивающего гидравлические сопротивления на судовую систему транспортировки бурильной суспензии и изменение функциональных свойств бурильной суспензии, ограничивающее возможность её дальнейшего использования [6, 7].

Изложенное подтверждает актуальность решения задачи по поддержанию и регулированию плотности бурильной суспензии во время её транспортировки судами класса PSV на нефтедобывающую платформу.

Исследование выполнялось на судне класса PSV дедвейтом 5650 т, которое совершало 2 ... 2,5-дневные переходы от порта до буровой платформы с возможным ожиданием непосредственного подхода к платформе в течении 1 ... 1,5 дней. Транспортировалась бурильная суспензия в четырёх равно размерных танках, попарно расположенных с каждого борта судна (рис. 1).

В предыдущих исследованиях [1, 6, 8] было установлено, что в течении указанного промежутка времени (перехода и ожидания) происходит 42 ... 48 %-я стратификация плотности бурильной суспензии по глубине грузового танка. В этих же исследованиях с целью минимизации процесса стратификации плотности бурильной суспензии, предотвращения её расслоения и образования осадка из тяжёлых компонентов было предложено модернизировать судовую систему перевозки бурильной суспензии за счёт установки

дополнительных трубопроводов (которые обеспечивали X-образную циркуляцию суспензии в танках). Обеспечение этой технологии показано из рис. 2.

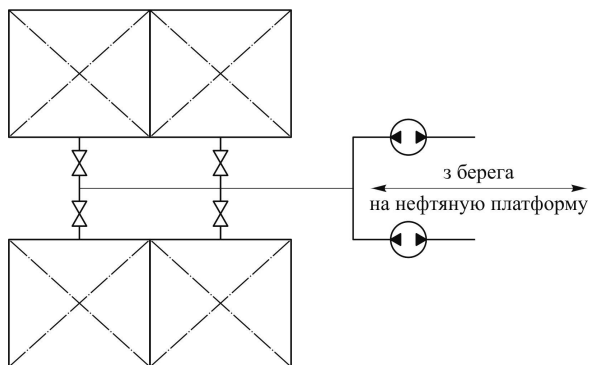


Рис. 1. Принципиальная схема системы хранения, транспортировки и передачи буровой суспензии

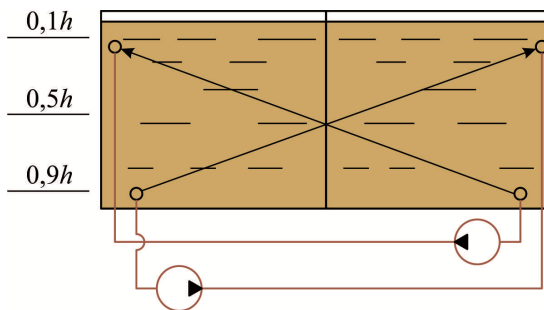


Рис. 2. Технология обеспечения X-образной циркуляции суспензии буровой суспензии в грузовых танках

Модернизация системы транспортировки буровой суспензии выполнялась судовым экипажем во время стоянки судна. Их продолжительность составляла 70 часов.

Принудительная циркуляция буровой суспензии между двумя рядом находящимися грузовыми танками осуществлялась с помощью дополнительно установленных насосов, постоянно находящихся в работе. Приведённые изменения были внесены в конструкцию двух соседних грузовых танков, расположенных с одного борта судна.

Конструкция системы перевозки бурильной суспензии для двух других соседних грузовых танков не изменялась, а значения плотности бурильной суспензии в этих танках принимались как контрольные.

Задачей исследования было разработка автоматической системы регулирования заданного уровня стратификации бурильной суспензии, обеспечивающей поддержание функциональных свойств бурильной суспензии и снижающей дополнительное потребление энергии, связанное с постоянной работой циркуляционных насосов.

Основные характеристики бурильной суспензии, перевозимой на буровую платформу:

наименование и марка – IRG-Vour 715KK;

плотность при 15 °С – 1295 кг/м³;

базовый компонент – минеральное масло Energol 415CL;

легированные добавки – Mg (1,6 ... 1,8 %), Ca (3,3 ... 3,8 %), Cu (0,1 ... 0,2 %), Si (6,2 ... 6,4 %).

Плотность бурильной суспензии измерялась на глубине, соответствующей 10-ти, 50-ти и 90 % общей глубины танка h (0,1 h , 0,5 h , 0,9 h на рис. 2). Для измерения использовался ареометр Anton Paar DMA35 Tag&Log компании LEMIS Baltic (Латвия-Германия), позволяющий выполнять измерения в диапазоне 650...1630 кг/м³ с точностью ± 1 кг/м³ при одновременном контроле температуры измеряемых образцов.

В качестве регулируемого параметра принималась стратификация плотности бурильной суспензии $\Delta\rho$, которая определялась как относительное изменение плотности на глубине 10 и 90 % общей глубины танка:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{90} - \rho_{10}}{\rho_{90}} 100 \%,$$

где ρ_{90} , ρ_{10} – плотность на глубине 90 и 10 % общей глубины грузового танка соответственно, кг/м³ [9 - 11].

Время перехода судна PSV от порта до начала выдачи бурильной суспензии на буровую платформу (в режиме экономического хода судна [12]) составляло 52 часа, что давало возможность отбирать пробы бурильной суспензии для всех условий эксперимента в течении 48 часов с промежутком между измерениями 6 часов. Результаты исследований приведены в табл.

Значения плотности в попарно расположенных соседних танках (двух без дополнительной циркуляции и двух с X-образной циркуляцией) усреднялись. Время выполнения комплекса измерений

не превышало 10 мин. Полученные значения вносились в программу персонального компьютера, с помощью которой рассчитывалась стратификация плотности и выдавался управляющий сигнал на контроллер [13, 14], который обеспечивал включение/выключение циркуляционных насосов.

Таблица
Влияние способа транспортировки бурильной суспензии на её характеристики в танке глубиной h

Время транспортировки, часы	Плотность суспензии, ρ , кг/м ³ , на различной глубине грузового танка						Стратификация плотности $\Delta\rho$, %	
	штатная система			система с X-образной циркуляцией			штатная система	система с X-образной циркуляцией
	0,1h	0,5h	0,9h	0,1h	0,5h	0,9h		
0	1295	1295	1298	1295	1296	1299	0,23	0,31
6	1292	1298	1329	1293	1300	1328	2,86	2,71
12	1278	1325	1378	1281	1328	1381	7,82	7,81
18	1265	1342	1396	1288	1312	1351	10,36	4,89
24	1242	1362	1419	1293	1303	1315	14,25	1,70
30	1228	1385	1438	1285	1325	1348	17,10	4,90
36	1207	1402	1468	1268	1348	1377	21,62	8,60
42	1182	1419	1488	1282	1327	1335	25,89	4,13
48	1163	1447	1524	1293	1298	1304	31,04	0,85

В настоящее время не существует рекомендаций по поддержанию значения стратификации плотности [15, 16]. Данная величина была выбрана равной 7 % с учётом опыта эксплуатации судовых систем перевозки бурильных суспензий и результатов предыдущих исследований [1, 2, 6, 17]. Таким образом, в случае, когда значение стратификации плотности превышало 7 %, система автоматического регулирования обеспечивала X-образную циркуляцию бурильной суспензии между соседними танками. Циркуляция прекращалась, когда значение стратификации не превышало 2 %. Температура бурильной суспензии (которая одновременно с плотностью измерялась ареометром Anton Paar DMA35 Tag&Log) во время исследований изменялась в диапазоне 17 ... 18 °С, что не оказывало существенного влияния на её плотность. Крен и дифферент судна позволяли считать высоту уровня бурильной суспензии в грузовом танке постоянной.

Номограммы, демонстрирующие изменение плотности и стратификации плотности бурильной суспензии для разных условий её транспортировки, показаны на рис. 3, 4.

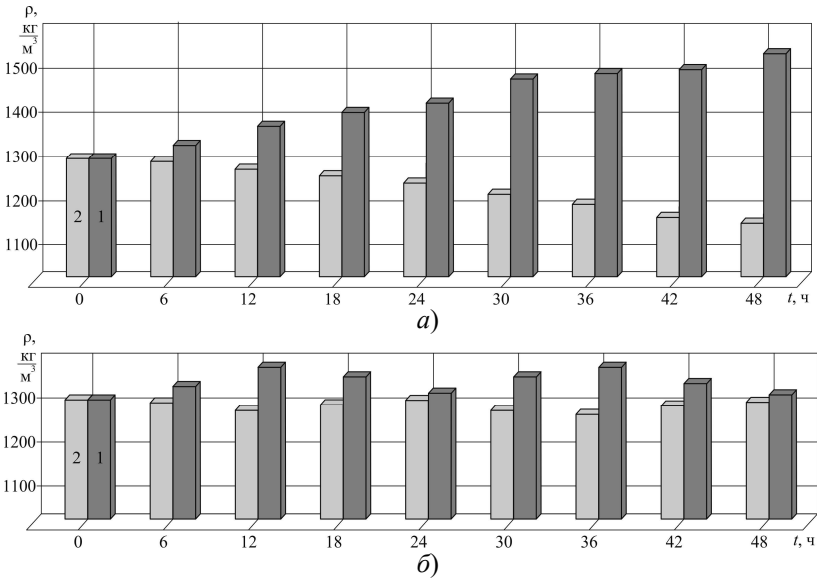


Рис. 3. Изменение плотности бурильной суспензии в зависимости от времени: а – транспортировка без модернизации конструкции системы, б – транспортировка с дополнительной X-образной циркуляцией

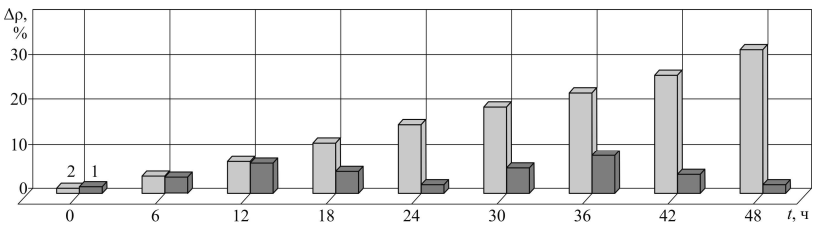


Рис. 4. Стратификация плотности бурильной суспензии по глубине грузового танка: 1 – транспортировка без модернизации конструкции системы; 2 – транспортировка с дополнительной X-образной циркуляцией

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы.

Бурильные суспензии, перевозка которых на буровые нефтедобывающие платформы осуществляется судами класса PSV, представляют собой многокомпонентные технические жидкости. Их

нахождение в статичном состоянии (в частности в грузовых танках морских специализированных судов) приводит к латентному изменению плотности по глубине грузового танка. Следствием этого является образование осадка из тяжёлых компонентов, которыми легированы бурильные суспензии. Это в свою очередь изменяет функциональные свойства бурильных суспензий, приводит к ухудшению технического состояния системы транспортировки бурильной суспензии, увеличению гидравлических сопротивлений на магистрали перекачивания бурильной суспензии на буровую платформу.

Стратификация плотности бурильной суспензии по глубине грузового танка за время транспортировки на буровую платформу (до 48 часов) может достигать её 31%. Одним из методов, предотвращающих этот негативный процесс, является создание дополнительной принудительной X-образной циркуляции бурильной суспензии. Её обеспечивают циркуляционные насосы по магистралям, соединяющим донную и верхнюю части рядом находящихся грузовых танков.

Автоматизация работы системы дополнительной X-образной циркуляции бурильной суспензии может быть обеспечена с помощью контроллеров. Регулируемым параметром такой системы целесообразно принять стратификацию плотности бурильной суспензии по высоте грузового танка.

Для поддержания эксплуатационных характеристик бурильной суспензии и обеспечения функционирования системы транспортировки бурильной суспензии необходимо автоматически поддерживать значение стратификации плотности бурильной суспензии в диапазоне 2...7%. При этом при достижении стратификации плотности величины 7% с помощью контроллера обеспечивается включение циркуляционных насосов и создание циркуляции бурильной суспензии между рядом находящимися танками. Это повышает однородное состояние бурильной суспензии и способствует снижению стратификации плотности по глубине грузового танка. Процесс дополнительной циркуляции бурильной суспензии рационально обеспечивать до момента, когда стратификация плотности достигнет значения 2%. Выполнение приведённых условий обеспечивает поддержание эксплуатационных свойств бурильной суспензии и минимизирует потребление энергии, связанное с дополнительной работой циркуляционных насосов.

ЛИТЕРАТУРА
REFERENCES

1. Karianskyi S.A., Maryanov D.M. Features of transportation of high-density technical liquids by marine specialized vessels // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. – January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. – P. 150 - 153.
2. Марьянов Д.Н. Повышение эффективности функционирования специальных систем специализированных морских судов // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. – 2020. – № 4(73).
3. Поповский Ю.М., Сагин С.В., Ханмамедов С.А., Гребенюк М.Н., Терегеря В.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения // Вестник машиностроения. – 1996. – № 6. – С. 7 – 11.
4. Сагин С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132 - 142.
5. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоёв углеводородных жидкостей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одеса: Одеськ. нац. мор. ун-т. – С. 78 – 88.
6. Карьянский С.А., Марьянов Д.Н. Поддержание реологических характеристик технических жидкостей при их длительной транспортировке // Матеріали II Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету (MPP&O-2020 –Marine Power Plants and Operation), квітень 2020. – Одеса: Одеськ. нац. мор. ун-т. – С. 202 - 206.
7. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту : зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 – 100.
8. Карьянский С.А., Марьянов Д.Н. Обеспечение эксплуатационных характеристик высокоплотных технических жидкостей при их транспортировке морскими судами // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту: зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 97 – 105.
9. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55 – 59.

10. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сб. – 2014. – Вып. 20. – С. 74 – 83.

11. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. – С. 66 - 74.

12. Горб С.И. Оптимизация главного двигателя на режиме экономического хода судна // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 17 - 34.

13. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Техническое обеспечение подготовки судовых инженеров по системам автоматизации с программируемыми контроллерами // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 39 - 46.

14. Горб С.И., Никольский В.В., Хнюнин С.Г., Шапо В.Ф. Методическое обеспечение технологий автоматизации на базе программируемых контроллеров // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2017. – Вып. 23. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 30 - 35.

15. Сагин С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67 - 71.

16. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту: зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 - 100.

17. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353 - 362.

Анотація – Розглянуто питання підтримки густини бурильної суспензії під час її транспортування з берега на бурову нафтовидобувну платформу суднами класу Platform Supply Vessels. Дослідження виконувалися на судні дедвейтом 5650 тонн, яке здійснювало 2 ... 2,5 денні переходи від порту до бурової платформи з можливим очікуванням безпосереднього підходу до платформи протягом 1 ... 1,5 днів. Транспортування бурильної суспензії

здійснювалася в чотирьох одно розмірних танках, попарно розташованих з кожного борту судна. Встановлено, що за цей проміжок часу відбувається латентне розширення бурильної суспензії по глибині вантажного танка, що викликає стратифікацію її густини. Вимірювання густини бурильної суспензії виконувалося на глибинах, відповідних 10-ти, 50-ти і 90 % загальної глибини танка. Стратифікацію густини бурильної суспензії запропоновано визначати як відносну зміну густини у верхній (на глибині 10%) і нижньої (на глибині 90%) частинах вантажного танка. Для вимірювання густини використовувався ареометр, що дозволяє виконувати вимірювання в діапазоні $650 \dots 1630 \text{ кг/м}^3$ з точністю $\pm 1 \text{ кг/м}^3$ при одночасному контролі температури. Вимірювання густини здійснювалися з проміжком часу 6 годин. Експериментально встановлено, що для бурильної суспензії з густиною 1295 кг/м^3 за час її 48 годинного транспортування значення густини на зазначених глибинах становить 1163 і 1524 кг/м^3 відповідно, при цьому стратифікація густини досягає 31 %. Запобігання стратифікації густини запропоновано забезпечити за рахунок створення примусової X-подібної циркуляції бурильної суспензії між вантажними танками, що знаходяться рядом. Запропоновано регулювання і автоматична підтримка густини бурильної суспензії в діапазоні 2 ... 7 % за рахунок використання програмованих контролерів. При цьому при досягненні стратифікації густини величини 7 % за допомогою контролера забезпечується включення циркуляційних насосів і створення циркуляції бурильної суспензії між вантажними танками, що знаходяться рядом. Це підвищує однорідний стан бурильної суспензії і сприяє зниженню стратифікації густини по глибині вантажного танка. Процес додаткової циркуляції бурильної суспензії раціонально забезпечувати до моменту, коли стратифікація густини досягне значення 2 %. Виконання наведених умов забезпечує підтримання експлуатаційних властивостей бурильної суспензії і мінімізує споживання енергії, пов'язане з додатковою роботою циркуляційних насосів.

Annotation – The issues of maintaining the drilling fluid density during its transportation from shore to the oil drilling platform by the Platform Supply Vessels were considered. The research was carried out on the vessel of 5650 deadweight tons, which made 2 ... 2.5 day voyages from port to drilling platform with possible waiting for direct approach to the platform for 1 ... 1.5 days. The drilling fluid was transported in four tanks of equal-size, arranged in pairs on each side of the vessel. It was found that

during this period of time there is a latent stratification of drilling fluid along the depth of cargo tank, causing stratification of its density. The density of the drilling fluid was measured at depths corresponding to 10, 50 and 90 % of the total tank depth. The drilling fluid density stratification is defined as the relative density change in the upper (at 10 % depth) and lower (at 90 % depth) parts of the cargo tank. The hydrometer was used to measure density, allowing measurements in the range of 650 ... 1630 kg/m³ with an accuracy of 1 kg/m³ while controlling the temperature. Density measurements were taken at 6-hour intervals. It has been experimentally proved that during the 48-hour transportation of the drilling fluid with the density of 1295 kg/m³, the density value at the indicated depths is 1163 and 1524 kg/m³ respectively, while the density stratification reaches 31 %. It is offered to prevent the density stratification by creating a forced X-shaped circulation of the drilling fluid between cargo tanks which stand side by side. It is offered to regulate and maintain automatically the drilling fluid density in the range of 2 ... 7 % by using programmable controllers. When the density stratification reaches 7 %, the controller switches on the circulation pumps and circulates the drilling fluid between tanks which stand side by side. This increases the drilling fluid uniformity and helps to reduce the density stratification along the depth of the cargo tank. The process of additional circulation of the drilling fluid is rationally ensured until the density stratification reaches a value of 2 %. Fulfilment of the above-mentioned conditions will ensure that the drilling fluid maintains its operational properties and the energy consumption associated with the additional operation of the circulation pumps is minimised.