

10.31653/smf343.2021.54-68

Мар'янов Д.М.

Національний університет «Одеська морська академія»,

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ТА
ЦИРКУЛЯЦІЇ БУРИЛЬНОЇ СУСПЕНЗІЇ НА СУДНАХ ТИПУ
PLATFORM SUPPLY VESSEL**

denismaryanovv@gmail.com

Анотація. Розглянута система зберігання та циркуляції бурильної суспензії на суднах класу Platform Supply Vessel. Експериментально встановлено, що для часу транспортування 6 ... 36 годин стратифікація густини бурильної суспензії за глибиною вантажного танку становить 3,04 ... 32,04 %. Як спосіб, що забезпечує мінімальну стратифікацію густини бурильної суспензії під час її транспортування, запропоновано використання додаткової Х-подібної циркуляції бурильної суспензії в обсязі сусідніх вантажних танків. Дослідженнями підтверджено, що при цьому стратифікація густини за часовий період 6 ... 36 годин знижується до діапазону 2,30 ... 9,01 %. Комплексне використання додаткової Х-подібної циркуляції та одночасної подачі повітря у донну частину вантажного танку забезпечує значення стратифікації густини 0,73 ... 2,93 %.

Abstract. The system of storage and circulation of drilling fluid on Platform Supply Vessel class vessels is considered. It was experimentally established that for the transport time of 6 ... 36 hours the stratification of the density of the drilling fluid by the depth of the cargo tank is 3.04 ... 32.04 %. As a method that ensures minimal stratification of the density of the drilling fluid during its transportation, it is proposed to use additional X-shaped circulation of the drill slurry in the volume of adjacent cargo tanks. Studies have confirmed that the density stratification for the time period of 6 ... 36 hours decreases to the range of 2.30 ... 9.01 %. The integrated use of additional X-shaped circulation and simultaneous air supply to the bottom of the cargo tank provides a value of density stratification of 0.73 ... 2.93 %.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Щорічне збільшення споживання вуглеводневої сировини, превалювання використання рідкого і газоподібного палива над твердим, відсутність реальних альтернатив нафти і газу як основного джерела теплової енергії призводить до поступового виснаження їх континентальних родо-

вищ. Подальше зростання споживання енергії в промисловості, на транспорті та в повсякденному житті підвищує дефіцит палива нафтового походження, який може бути забезпечений тільки континентальними запасами. Тому останнім часом велика кількість країн

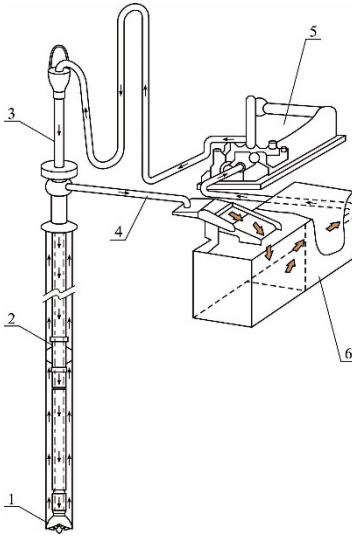


Рис. 1. Технологічна схема використання бурильної суспензії:

1 – бур, 2 – бурильна труба, 3 – поворотна труба, 4 – магістраль бурильної суспензії, 5 – насос подачі бурильної суспензії, 6 – танк бурильної суспензії

розвиває і розширює освоєння ресурсів континентального шельфу та Світового океану. При цьому видобуток вуглеводневої сировини здійснюється на автономних бурових платформах, розташованих поза материкових територій, а тому вимагають доставки на них спеціального обладнання, техніки та матеріалів. З цією метою використовуються судна класу PSV – Platform Supply Vessel, які характеризуються підвищеною маневреністю, високою енергооснащеністю, а також включають до свого складу ряд спеціальних, характерних тільки їм систем. Однією з таких систем є система транспортування бурильної суспензії, яка згодом перекачується на нафтовидобувну платформу і використовується для виконання робіт з буріння морського шельфу [1]. У функціональні властивості бурильних суспензій входять забезпечення мащення, охолодження та антикорозійної дії на буровий інструмент, а також промивання свердловин у процесі буріння (рис. 1). [2, 3].

Бурильні суспензії являють собою складні багатокомпонентні дисперсні системи суспензійних, емульсійних та аерованих рідин, основу яких складає мастильний матеріал. У бурильних суспензіях

(які використовують для видобутку нафти на морських та океанських платформах) дисперсним середовищем є малов'язке мінеральне мастило, дисперсною фазою – метали (наприклад, Ca, Mg, Cu), солі металів (наприклад, NaCl, KCl, MgCl₂), а також різні кремнійорганічні сполуки. Дисперсна фаза бурильної суспензії забезпечує процес мащення та охолодження бурильного обладнання, дисперсне середовище – покращує його триботехнічні характеристики [3-5]. Дисперсні компоненти бурильної суспензії (метали і солі металів) мають більш високу питому масу порівняно з дисперсною фазою (мінеральним мастилом), тому в процесі транспортування бурильної суспензії відбувається їх осадження на дно вантажного танка, в якому відбувається їх перевезення з берега на нафтову платформу. Це призводить до зміни експлуатаційних характеристик бурильної суспензії, зокрема виникнення стратифікації густини за глибиною вантажного танка [6, 7]. Осадження важких компонентів бурильної суспензії є причиною підвищення гідравлічного опору при її перекачуванні з вантажного танка судна на бурову платформу, а в деяких випадках може привести до пошкодження вантажних насосів. Крім того, видалення осаду з вантажних танків проводиться механічним способом і вимагає додаткових витрат енергії та часу, і перше, і друге збільшує фінансові витрати і знижує економічні показники роботи PSV. Тому підтримання експлуатаційних характеристик бурильних суспензій під час їх транспортування морськими суднами класу PSV є актуальним прикладним науково-технічним завданням, оптимальне розв'язання якого в даний час не знайдено [8-9].

Постановка завдання. Мета дослідження – розробка технології, що забезпечує підтримку постійного значення густини бурильної суспензії за глибиною танка, в якому відбувається її перевезення. Це забезпечить:

- • підтримання експлуатаційних характеристик бурильної суспензії;
- • мінімізацію утворення осаду важких компонентів, якими левова на бурильна суспензія;
- • зниження енергетичних витрат на процес перекачування бурильної суспензії з судна PSV на бурову платформу;
- • підтримання технічного стану суднової системи перевезення бурильної суспензії.

Поставлена мета може бути досягнута за рахунок розв'язання наступних допоміжних завдань:

- 1) моніторингу густини бурильної суспензії за глибиною вантажного танка;
- 2) модернізації суднової системи зберігання і транспортування бурильної суспензії;
- 3) забезпечення примусової циркуляції бурильної суспензії;
- 4) підтримання реологічних характеристик бурильної суспензії під час її транспортування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підтримки і відновлення реологічних характеристик (зокрема, в'язкості і густини) технічних рідин використовується їх гідродинамічна, ультразвукова і хімічна обробка [10].

Гідродинамічний вплив на потік рідини здійснюється шляхом створення підвищеного тиску і збільшення швидкості її руху. При цьому за рахунок роздроблення елементів дисперсної фази збільшується їх дисперсність і однорідність усього об'єму рідини [11, 12].

Під час ультразвукової обробки в потоці рідини відбувається імпульсне підвищення і зниження тиску в локальних обсягах рідини. Це, а також забезпечення турбулентного руху, призводить до підвищення однорідності рідини і запобігання осаду важких компонентів, що входять до її складу [13, 14].

Підтримка і відновлення реологічних характеристик технічних рідин також можливі шляхом хімічної обробки. При цьому в об'єм рідини вводяться додаткові реагенти, які за рахунок міжмолекулярних взаємодій забезпечують підтримку однорідності рідини на потрібному рівні протягом періодів зберігання і транспортування [15, 16].

Виклад основного матеріалу. Для визначення технології, що забезпечує підтримку постійного значення густини бурильної суспензії за глибиною танка, у якому відбувається її перевезення, проводилися експериментальні дослідження на морському судні PSV дедвейтом 5850 тонн. Судна типу PSV відносяться до середньошвидкісного класу (їх максимальна швидкість, як правило, не перевищує 12 ... 13 вузлів), тому тривалість їх переходу (а, відповідно, і час транспортування бурильної суспензії) від порту до нафтової платформи становить 2 ... 3 дні. Крім того, можливі випадки, коли деякі експлуатаційні та технологічні причини спричиняють необхідність дрейфу або стоянки біля бурових платформ [17]. Цей часовий проміжок сприяє поступовому осадженню важких компонентів, якими леговані суспензії, і збільшує стратифікацію густини бурильної суспензії по глибині вантажного танка, в якому вона знаходиться [18, 19].

Перевезення суспензії здійснювалося в шести однотипних вантажних танках, розташованих симетрично з лівого і правого борту. У системі передбачені технологічні операції з прийому на борт і видачі на нафтову платформу бурильної суспензії, які забезпечуються вантажними насосами. З метою мінімізації процесу стратифікації густини бурильної суспензії, запобігання її розшарування та утворення осаду з важких компонентів суднова система перевезення бурильної суспензії модернізувалася за рахунок:

- • установки додаткових трубопроводів (які забезпечували Х-подібну циркуляцію суспензії в танках);
- • установки в нижню частину вантажного танка аеродинамічних вставок (за якими подавалося повітря).

Зміни, внесені в систему, наведені на рис. 2.

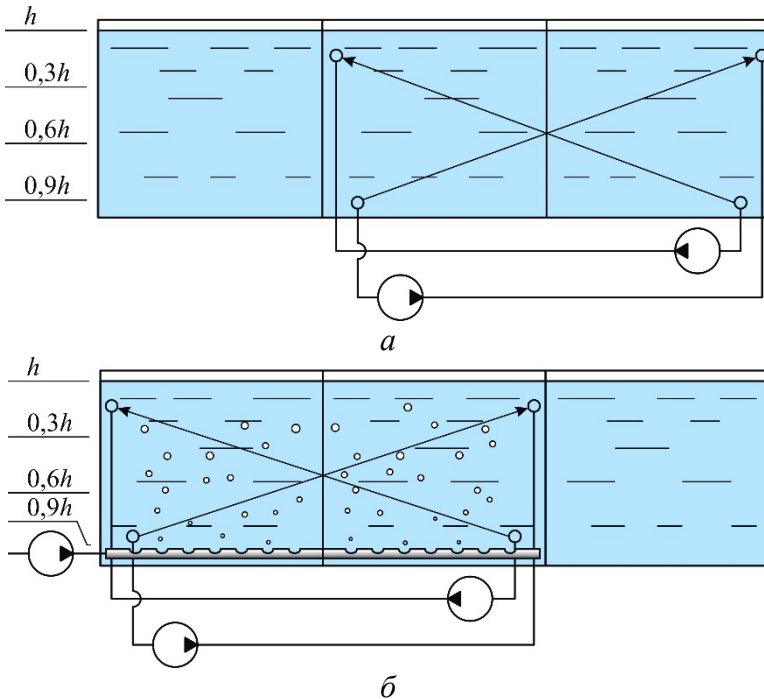


Рис. 2. Принципова схема включення додаткових блоків у суднову систему транспортування бурильної суспензії: *а* – забезпечення Х-подібної циркуляції бурильної суспензії в танках; *б* – забезпечення Х-подібної циркуляції бурильної суспензії з одночасною подачею повітря у нижню частину вантажних танків

Виконання робіт з модернізації системи транспортування бурильної суспензії виконувалося судновим екіпажем під час стоянки судна. Їх тривалість становила 72 години, технологія їх виконання була узгоджена з технічним департаментом компанії.

Час переходу судна PSV від порту до початку видачі бурильної суспензії на бурову платформу становив 56 годин, що давало можливість здійснювати відбір проб бурильної суспензії для всіх умов експерименту протягом 48 годин з проміжком між вимірами густини 6 годин. Як контрольний параметр, за яким оцінювався дисперсний стан бурильної суспензії, приймалася густина. Її визначення виконувалося електронним ареометром Anton Paar DMA35 Tag&Log компанії LEMIS Baltic (Латвія-Німеччина), що дозволяв виконувати вимірювання в діапазоні 650 ... 1630 кг/м³ з точністю ± 1 кг/м³ при одночасному контролі температури вимірюваних зразків. Проби для визначення густини бурильної суспензії відбиралися в різних точках танка, відповідних 30-ти, 60-ти і 90 % його глибини (0,3h, 0,6h, 0,9h на рис. 2), а також на поверхні танка.

Для проведення експерименту перевезення бурильної суспензії здійснювалось за наступних умов:

- 1) два танки без зміни конструкції системи;
- 2) два танки, у яких додатково забезпечувалась X-подібна циркуляція бурильної суспензії – рис. 2, а;
- 3) два танки, в яких додатково забезпечувалась X-подібна циркуляція бурильної суспензії і примусова подача повітря – рис. 2, б.

Результати досліджень наведені в табл. 1.

Стратифікація густини бурильної суспензії $\Delta\rho$ визначалася як відносна зміна густини на поверхні вантажного танка і на глибині 90 %

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{90} - \rho_0}{\rho_{90}} 100\%,$$

Таблиця 1. Густина бурильної суспензії (ρ , кг/м³) і стратифікація густини бурильної суспензії ($\Delta\rho$, %) за глибиною вантажного танка залежно від часу і способу її транспортування

	Час транспортування, години								
	0	6	12	18	24	30	36	42	48
Транспортування без зміни конструкції системи									
Густина, (ρ , кг/м ³) на поверхні	1162	1135	1128	1117	1085	1052	1008	962	922
на глибині: 0,3h	1162	1142	1139	1128	1102	1088	1028	1011	978
0,6h	1163	1165	1188	1209	1218	1225	1231	1239	1252
0,9h	1164	1178	1208	1234	1243	1258	1283	1302	1322
Стратифікація густини ($\Delta\rho$, %) за глибиною танку	0,17	3,79	7,09	10,47	14,56	19,58	27,28	35,34	43,38
Транспортування з додатковою X-подібною циркуляцією									
Густина, (ρ , кг/м ³) на поверхні	1162	1148	1135	1128	1122	1118	1111	1110	1108
на глибині: 0,3h	1163	1160	1157	1152	1148	1143	1140	1137	1136
0,6h	1163	1166	1172	1176	1180	1182	1188	1208	1225
0,9h	1164	1168	1174	1179	1185	1193	1202	1228	1255
Стратифікація густини ($\Delta\rho$, %) за глибиною танку	0,17	1,74	3,44	4,52	5,61	6,71	8,19	9,61	11,71
Транспортування з додатковою X-подібною циркуляцією та подачею повітря									
Густина, (ρ , кг/м ³) на поверхні	1163	1160	1157	1156	1155	1154	1153	1153	1152
на глибині: 0,3h	1163	1164	1165	1167	1169	1172	1175	1178	1181
0,6h	1165	1166	1168	1172	1176	1178	1183	1187	1191
0,9h	1165	1168	1172	1176	1180	1183	1187	1191	1202
Стратифікація густини ($\Delta\rho$, %) за глибиною танку	0,17	0,68	1,28	1,70	2,12	2,45	2,86	3,19	4,16

Значення стратифікації густини бурильної суспензії залежно від часу і способу її транспортування наведено в табл. 1. Результати досліджень також відображені на рис. 3, 4 (на яких показані залежності зміни густини бурильної суспензії і стратифікації густини бурильної суспензії від часу).

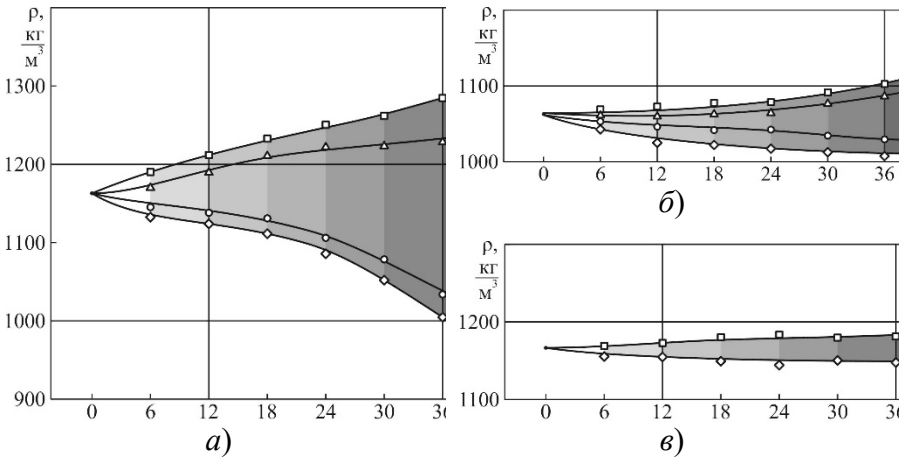


Рис. 3. Зміна густини бурильної суспензії від часу для різних умов її транспортування суднами класу PSV: $\rho_0, \rho_{30}, \rho_{60}, \rho_{90}$ – густина на поверхні, на глибині 30, 60, 90 % загальної глибини вантажного танка; *a* – транспортування без зміни конструкції системи; *б* – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією; *в* – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією та подачею повітря

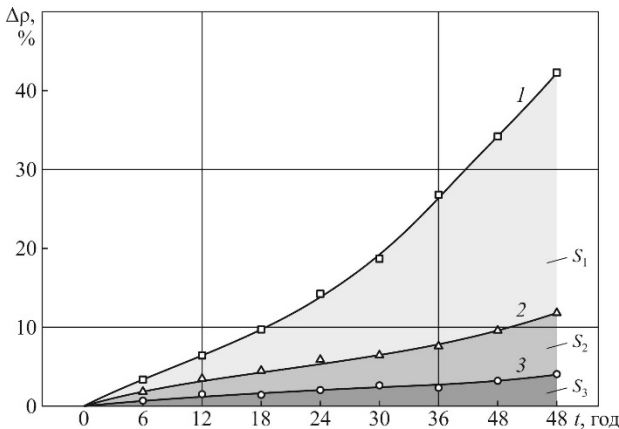


Рис. 4. Стратифікація густини бурильної суспензії від часу для різних умов її транспортування суднами класу PSV: *1* – транспортування без зміни конструкції системи; *2* – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією; *3* – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією і подачею повітря

Ефективність системи збереження і циркуляції бурильної суспензії може бути оцінена як інтеграл залежності $\Delta\rho=f(t)$ [23, 24]. Для залежностей, поданих на рис. 4, це значення може бути визначено як площа під кривими 1, 2, 3. Значення площі доцільно представити як суму трапецій, обмежених значеннями часу (0-6-...-42-48) і стратифікації густини

$$\int_0^{48} \Delta\rho(t)dt \approx \frac{h}{2} [\Delta\rho_0^6 + 2\Delta\rho_6^{12} + \dots + 2\Delta\rho_{36}^{42} + \Delta\rho_{42}^{48}] \quad (1)$$

де h – крок інтегрування (для розглянутого випадку $h=6$);

$\Delta\rho_0^6, \Delta\rho_6^{12} \dots \Delta\rho_{36}^{42}, \rho_{42}^{48}$ – величина стратифікації густини на відповідних тимчасових інтервалах [25, 26].

Що більше значення площі, то вище рівень стратифікації густини бурильної суспензії під час її транспортування. Зменшення площі свідчить про підвищення ефективності обраного способу вдосконалення системи збереження і циркуляції бурильної суспензії [27-29]. Значення площі має розмірність [%·час], однак для зручності сприйняття будемо враховувати тільки чисельні значення. Для залежностей, поданих на рис. 4, відповідно до (1) отримаємо: $S_1=224,3$; $S_2=58,2$; $S_3=19,5$.

Порівняльну оцінку способів транспортування бурильної суспензії здійснимо як відношення площ

$$\frac{S_1}{S_2} = 3,85; \quad \frac{S_1}{S_3} = 11,5.$$

Наведені результати підтверджують ефективність використання додаткової Х-подібної циркуляції і подачі повітря в нижню частину вантажного танка при транспортуванні бурильної суспензії та кореспондуються з науковими роботами, що виконувались в цьому напрямку [30-36].

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Морські судна спеціального призначення типу Platform Supply Vessel характеризуються наявністю в складі їх енергетичної установки властивих тільки їм систем. Однією з таких систем є система збе-

реження і циркуляції бурильної суспензії – спеціальної технічної рідини, яка перевозиться на бурову платформу і використовується для технологічного процесу видобутку нафти. Бурильні суспензії є дисперсними системами, які складаються з рідкої фази (мінерального мастила) і неорганічних компонентів, питома маса яких перевищує питому масу рідкої фази. Це призводить до латентної стратифікації густини і розшарування бурильної суспензії за глибиною вантажного танка, в якому проводиться її транспортування. Наслідком цього негативного процесу є погіршення функціональних характеристик бурильної суспензії, утворення осаду у вантажних танках, збільшення гідравлічних опорів у системі циркуляції бурильної суспензії, підвищення навантаження на циркуляційні насоси, неможливість перекачування бурильної суспензії на бурову платформу.

2. Досвід експлуатації системи збереження та циркуляції бурильної суспензії на судах типу Platform Supply Vessel свідчить про те, що при 2 ... 3 денних переходах судна від порту до бурової платформи стратифікація густини бурильної суспензії за глибиною вантажного танка (під якою розуміється відносна зміна густини у верхній і донній частинах танка) може перевищувати 40 %.

3. Удосконалення системи збереження та циркуляції бурильної суспензії, що призводить до зниження рівня стратифікації її густини, може бути забезпечено за допомогою додаткової Х-подібної циркуляції бурильної суспензії між вантажними танками, що знаходяться поряд, а також за рахунок подачі повітря в нижню частину вантажного танка. При цьому величина стратифікації густини знижується до значень: 11,7 % (для першого варіанту вдосконалення системи) і 4,2 % (для другого).

4. Зниження стратифікації густини при цих випадках транспортування пояснюється штучним створенням ламінарного потоку бурильної суспензії (за рахунок її примусової циркуляції між сусідніми вантажними танками), а також її локальними турбулентними течіями (за рахунок додаткової подачі повітря в нижню частину вантажних танків). Перехресний рух бурильної суспензії (який здійснюється як під дією гравітаційних сил, так і за допомогою додатково встановлених циркуляційних насосів) і повітря, що подається у вантажний танк, може сприяти виникненню явища кавітації. Це призводить до силового впливу на органічні і неорганічні сполуки, які знаходяться в об'ємі бурильної суспензії. Це перешкоджає їх осадженню і підтримує їх в підвищеному стані.

5. Ефективність способу циркуляції бурильної суспензії доцільно оцінювати за інтегральним показником – площею під кривою залежності $\Delta\rho=f(t)$, де $\Delta\rho$ – стратифікація густини, t – час транспортування. Збільшення площі характеризує підвищення стратифікації густини бурильної суспензії під час її транспортування. Зменшення – більш високу однорідність бурильної суспензії і підтримку її експлуатаційних характеристик.

6. Удосконалення системи транспортування бурильної суспензії може бути виконано безпосередньо на судні Platform Supply Vessel силами суднової машинної команди після узгодження документації та технології проведення робіт із технічним департаментом судноплавної компанії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. DOI: 10.34660/INF. 2020.24.53688.

2. Марьянов Д.Н. Повышение эффективности функционирования специальных систем специализированных морских судов // Universum : Технические науки : электрон. научн. журн. – 2020. – № 4(73). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/9291>.

3. Lipin A.A., Kharlamov Y.P., Timonin V. V. Circulation system of s pneumatic drill with central drilling MUD removal. Journal of Mining Science. –2013. – Vol. 49. – № 2. – P. 248-253. DOI: 10.1134/S1062739149020068.

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

5. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники : наук.-виробн. журнал, 2012 . – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.

6. Поповский Ю.М., Сагин С.В., Ханмамедов С.А., Гребе-нюк М.Н., Терегеря В.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения // Вестник машиностроения, 1996. – № 6. – С. 7-11.

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

9. 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. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-97-105.

10. 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. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

11. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // American Journal of Applied Sciences – 2016. – Vol.13. – Iss. 2. – P. 200-208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.

12. Sagin S.V., Semenov O.V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol.13. – Iss. 5. – P. 618-627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.

13. Заблоцкий Ю.В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 35. – Одесса: НУ ОМА. – С. 83-92.

14. Sagin S.V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – №. 5. – P. 269-278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.

15. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб, 2010. – Вып. 25. – Одесса : ОНМА. – С.109-118.

16. 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. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

17. 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.

18. 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.

19. 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. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-97-105.

20. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // *Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал.* – 2011. – № 3. – Одеса : Одеськ. нац. мор. ун-т. – С. 78-88.

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

22. 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.

23. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник.* – 2018. – Вип. 24. – С. 72-80.

24. Kurpyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // *Naše more: International Journal of Maritime Science & Technology.* – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>

25. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // *Naše more : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2018. – Vol. 65. – № 2. – P. 78-86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3

26. Kuropyatnyk O.A. The use of bypass exhaust gases to ensure the environmental performance of marine diesel engines // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2018. – Вип. 38. – С. 217-228.

27. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

28. Сагін 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.

29. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

30. Голяков В.А., Онищенко О.А. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2017. – Вип. 37. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 13 - 27.

31. Kolegaev M.O., Brazhnik I.D. Main ways of tanker inert gas system modernization // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2019. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 200 - 216.

32. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 26 - 32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

33. Maryanov D. Development of a method for maintaining the performance of drilling fluids during transportation by Platform Supply Vessel // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 15-20. <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239437>.

34. Заблоцький Ю. В. Підвищення паливної економічності суднових дизельних установок / Ю. В. Заблоцький // *Вісник Одеськ. нац.*

морськ. ун-ту : зб. наук. праць. – 2020. – № 2(62). – С. 106-119. DOI 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.

35. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньооборотових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення / С. В. Сагін // Вісник Одеськ. нац. морськ. ун-ту : зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87 - 96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.

36. Малахов О.В., Колегаєв М.О., Бражнік І.Д., Ліхогляд К. А. Характеристики процесу тепло-масопереносу в застосуванні до вентиляції інертними газами вантажних трюмів танкерів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2019. – Вип. 39. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 56 - 68.