

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

В.А. Стенин, Е.Г. Лебедева

**ВИХРЕВЫЕ И ДВУХФАЗНЫЕ ПОТОКИ
В ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ СУДОВЫХ СИСТЕМ**

Монография

Архангельск
САФУ
2019

УДК 629.12.03-2018
ББК 39.45
С79

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

Л.Я. Дьячков, гл. технолог-начальник Научно-технологического
управления ПО «Северное машиностроительное предприятие»;
М.Л. Ивлев, директор института судостроения и морской
арктической техники (Севмашвтуз)

Стенин, В.А.

С79 Вихревые и двухфазные потоки в технологии промывки судовых
систем: монография / В.А. Стенин, Е.Г. Лебедева; Сев. (Арктич.) фе-
дер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2019. – 104 с.
ISBN 978-5-261-01407-2

Дано теоретическое и экспериментальное обоснование использо-
вания вихревого и двухфазного потоков для совершенствования тех-
нологических процессов промывки судовых систем. Разработаны ма-
тематические модели промывки судовых систем, которые уточняют
условия взаимодействия твердой частицы загрязнения с турбулент-
ным потоком однофазной и двухфазной жидкости в ядре потока и в
ламинарном вязком подслое. Предложены способы и технические ре-
шения для организации устойчивого двухфазного потока в протяжен-
ных судовых системах. Теоретические исследования подкреплены
экспериментами, которые показывают целесообразность интенсифи-
кации гидродинамического процесса очистки судовых систем вихре-
вым и двухфазным потоком

Для инженерно-технических работников предприятий, решающих
задачи монтажа, испытания и сдачи судовых систем, а также аспиран-
тов и студентов.

УДК 629.12.03-2018
ББК 39.45

ISBN 978-5-261-01407-2

© Стенин В.А., Лебедева Е.Г., 2019
© Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, 2019

Введение

Рост требований к надёжности, обусловленный созданием форсированных силовых энергетических установок с высоким теплосъёмом на единицу поверхности нагрева, автоматизацией дистанционного управления и контроля, применением для измерений приборов повышенной точности, привёл к ужесточению требований к чистоте рабочих сред судовых систем и систем СЭУ. Наличие в рабочих средах даже небольшого количества посторонних примесей способствует преждевременному износу механизмов и арматуры. В системах гидравлики, используемых на современных судах, присутствие механических частиц загрязнений размером свыше 16 мкм опасно.

Для предупреждения возникновения и ликвидации технологических загрязнений предусмотрена очистка: поверхностей деталей на этапах их изготовления; внутренних полостей при сборке оборудования; внутренних полостей оборудования и систем на этапе монтажа. Все эти процессы хорошо изучены и в некоторых случаях поддаются механизации.

Особого внимания заслуживает послемонтажная гидродинамическая очистка систем на завершающем этапе производственного процесса, когда полости изделий практически сформированы и очистке не поддаются. Отсюда вытекает необходимость разработки комплекса организационных мер и расчёта режимов промывки на гидродинамических стендах. Основной задачей является назначение рационального расхода промывочной среды, достаточного для переноса механических частиц, и организация режимов промывки таким образом, чтобы данный расход присутствовал на всех участках промываемой трубопроводной системы независимо от геометрических характеристик участка, его удалённости от стенда гидродинамической очистки и других факторов.

Требования к чистоте жидкостей некоторых судовых очень высокие [11, 12]. Поэтому соответствующие требования предъявляются к чистоте внутренних полостей систем и их элементов. В соответствии с установленными классами чистоты [11, 12] системы гидропривода, сжатого воздуха, маслопроводы, конденсатно-питательная система и другие ответственные судовые системы подвергаются очистке и промывке согласно основным нормативным документам [8, 9]. Промывка этих систем обязательна, так как на этапе монтажа в уже очищенные элементы систем вновь попадают загрязнения: сварочный шлак, грат, брызги металла, заусенцы из-за некачественной обработки металла, элементы вспомогательных и прокладочных материалов (стекло, краска, поролон, резина, фарфор, ветошь и т.д.). Поэтому монтажные загрязнения наиболее опасны, так как находятся

в уже собранных системах. Согласно классам чистоты рабочих жидкостей и газов [11, 12] наличие в жидкостях частиц размером более 200 мкм не допускается. Классы 3–12 распространяются на системы, к некоторым системам предъявляются очень жесткие требования, при которых наличие каких-либо загрязнителей строго регламентируется. Например, в системах сжатого воздуха присутствие воды и масла вообще не допускается (классы загрязненности 0, 1, 3, 5), а механических примесей (твердых частиц) строго оговаривается в диапазоне $0,001 \dots 2 \text{ мг/м}^3$ в зависимости от класса загрязненности.

Жидкие и газообразные загрязнения влияют на режим работы судовых систем (связаны с физико-химическими процессами, протекающими на поверхности механизмов, аппаратов и др.), а твердые загрязнения оказывают влияние на работоспособность трущихся пар деталей и конструкционный износ материалов. Технологические загрязнения с удельной массой более 1000 кг/м^3 , встречающиеся в судовых системах, представлены в [32]. Плотность этих загрязнений колеблется от 1150 кг/м^3 (полиэтиленовая дробь приведенным диаметром 1,2 мм) до 11340 кг/м^3 (свинцовая дробь приведенным диаметром 2 мм) и 7850 кг/м^3 (металлическая стружка приведенным диаметром 2,26 мм). Кроме этих загрязнений, существуют также частицы, обладающие положительной плавучестью: древесные опилки, пробка, ткань.

При имеющейся картине технологических загрязнений, попадающих в системы на монтажном этапе, единственным способом очистки уже смонтированных систем является промывка. Анализ состава загрязнений судовых систем [32] показывает, что при гидродинамических очистках до 95 % вымываемых частиц имеют размеры более 0,1 мм. Частицы размерами менее 0,1 мм являются трудно вымываемыми.

Формулы для расчета режима промывки (расход промывочной среды) используются из области гидротранспорта песчаных и сыпучих материалов. В [32] приведены рекомендации по определению критической скорости промывки в трубопроводах различной пространственной ориентации для транспортировки частиц при их малой концентрации, на основе теории гидротранспорта частиц. Исследования по гидродинамическому удалению одиночных частиц также проводились в направлении определения скорости витания технологических загрязнений. Поскольку все судовые трубопроводные системы отличаются сложной разветвлённой конфигурацией, значительной протяжённостью и насыщенностью различными агрегатами и арматурой, достижение поставленной задачи становится невозможным без кардинального изменения существующих способов промывки судовых систем.

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Технологические основы процесса промывки судовых систем	5
1.1. Требования к чистоте судовых систем	5
1.2. Этапы проведения промывки.....	8
1.3. Способы интенсификации процесса промывки.....	12
1.4. Теоретические основы процесса промывки судовых систем.....	16
Глава 2. Вихревые потоки	20
2.1. Остойчивость частицы загрязнения и пограничный слой.....	20
2.2. Статистическая модель турбулентного потока.....	23
2.3. Теория градиентно-скоростного поля.....	25
2.4. Закрученный поток моющей жидкости	30
Глава 3. Двухфазные потоки.....	34
3.1. Флотация в технологии промывки	34
3.2. Газовый пузырь и моющая жидкость	36
3.3. Получение устойчивого эмульсионного двухфазного потока ...	41
3.4. Определение размеров газового пузыря в потоке жидкости.....	44
3.5. Колебания газового пузырька.....	50
Глава 4. Адгезия частиц загрязнений.....	58
4.1. Адгезия частиц загрязнений в вихревом потоке	58
4.2. Адгезия частиц загрязнений в двухфазном потоке	62
Глава 5. Экспериментальное исследование двухфазных и вихревых потоков	68
5.1. Математическое моделирование гидродинамических процессов промывки в среде COSMOSFloWorks.....	68
5.2. Исследование процесса витания частиц загрязнений при промывке систем.....	76
5.3. Организация и исследование двухфазного потока на физической модели	80
5.4. Комбинированный способ промывки трубопроводов	88
5.5. Энергетические аспекты технологии промывки гидравлических систем.....	92
Заключение	99
Список литературы	100