

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ЦИКЛОВ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНЫХ РАБОТ ПО ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОМЫВКИ СУДОВЫХ СИСТЕМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ

Лебедева Елена Геннадьевна

канд. техн. наук, Северный арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
институт судостроения и морской арктической техники, РФ, г. Северодвинск

DEVELOPMENT OF THE MAIN CYCLES OF EXPERIMENTAL WORK ON INTENSIFICATION OF FLUSHING OF MARINE SYSTEMS WITH A PULSATING TWO- PHASE FLOW

Elena Lebedeva

*Candidate of Technical Sciences, Lomonosov Northern Arctic Federal University, Institute of
Shipbuilding and Marine Arctic Engineering, Russia, Severodvinsk*

Аннотация. При промывке протяженных судовых систем может быть использован смешанный двухфазный поток воды и воздуха. Данный способ промывки судовых систем имеет хорошую перспективу для внедрения на производстве. Для разработки технологии промывки систем пульсирующим двухфазным потоком необходимо разработать блок интенсификации, содержащий устройства подачи воздуха и смешивания двухфазного потока, а также разработать технологию промывки систем двухфазным потоком. Подготовка к опытным работам.

Abstract. When flushing extended ship systems, a mixed two-phase flow of water and air can be used. This method of washing marine systems has a good prospect for implementation in production. To develop a technology for flushing systems with a pulsating two-phase flow, it is necessary to develop an intensification unit containing two-phase air supply and mixing devices, as well as to develop a technology for flushing systems with a two-phase flow. Prepare the experimental work.

Ключевые слова: опытные работы, промывочный стенд, двухфазный поток, промывка судовых систем.

Keywords: experimental work, flushing stand, two-phase flow, flushing of ship systems.

Способами, интенсифицирующими процесс промывки систем на судне, являются применение пульсаторов в потоке, закручивание потока в каналах, аэрация (барботирование) промывочного потока. Данные способы являются эффективными, так как приводят к разрушению погранслоя на стенках трубопроводах, устранению застойных зон. Двухфазный поток обладает также повышенными флотационными свойствами по отношению к частицам загрязнений. Создание промывочного стенда, предназначенного для проведения

гидродинамической промывки, но и имеющего устройства интенсификации является актуальной задачей. Средствами интенсификации могут быть различные пульсаторы, устройства изменения направления потока, устройства закрутки потока, устройство барботажа. На базе такого стенда можно также комбинировать методы интенсификации, например, применять одновременную закрутку и подавать воздух для создания двухфазного потока [4]. Особенно перспективным является пульсирующий двухфазный поток в качестве промывочной среды [2].

Пробные работы на менее протяженных трубах, чем судовые системы, проводились на базе ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Промывка участка системы, показала, что оптимальный режим промывки осуществляется при объемном содержании воздуха $\varphi=0,33-0,5$ с использованием чередования промывки однофазным и двухфазным потоком. В первые 5 дней (в две смены) работы промывочного устройства вымывается основное количество загрязнителя. Общая продолжительность промывочных работ принимается 21 суток (в две смены) [1].

По результатам испытания пробной опытной установки пульсации и барботажа промывочной воды (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова») на участке трубопровода [1] показало общее ускорение удаления загрязнений по усредненным показателям и составило:

- на начальной стадии промывки - в 2 раза;
- на конечной стадии промывки - в 3,5 раза.

По результатам испытания установки барботажа ускорение удаления загрязнений составило:

- на начальной стадии промывки - на 17...37%;
- на конечной стадии промывки - до 3...5 раз.

Для установки барботажа были определены возможность снижения расхода промывочной воды и электропотребления до 50% [1].

Для разработки промывочного стенда для реальных производственных условий, который бы сочетал в себе способы интенсификации промывки наряду с традиционным способом промывки, воспользуемся стандартным стендом гидродинамической промывки.

Поэтому стенд для осуществления промывки двухфазным пульсирующим потоком имеет те же элементы, что и стенд гидродинамической промывки. В качестве дополнительного устройства предусматривается блок, отвечающий за подачу в систему воздуха в количестве, определенном расчетным путем. Блок подачи воздуха имеет смеситель, установленный непосредственно в нагнетательной части стенда и осуществляющий не только смешивание двухфазного потока, но и одновременно являющийся источником пульсаций. Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 1. Блок подачи воздуха к смесителю на рисунке 1 обозначен пунктирной линией.

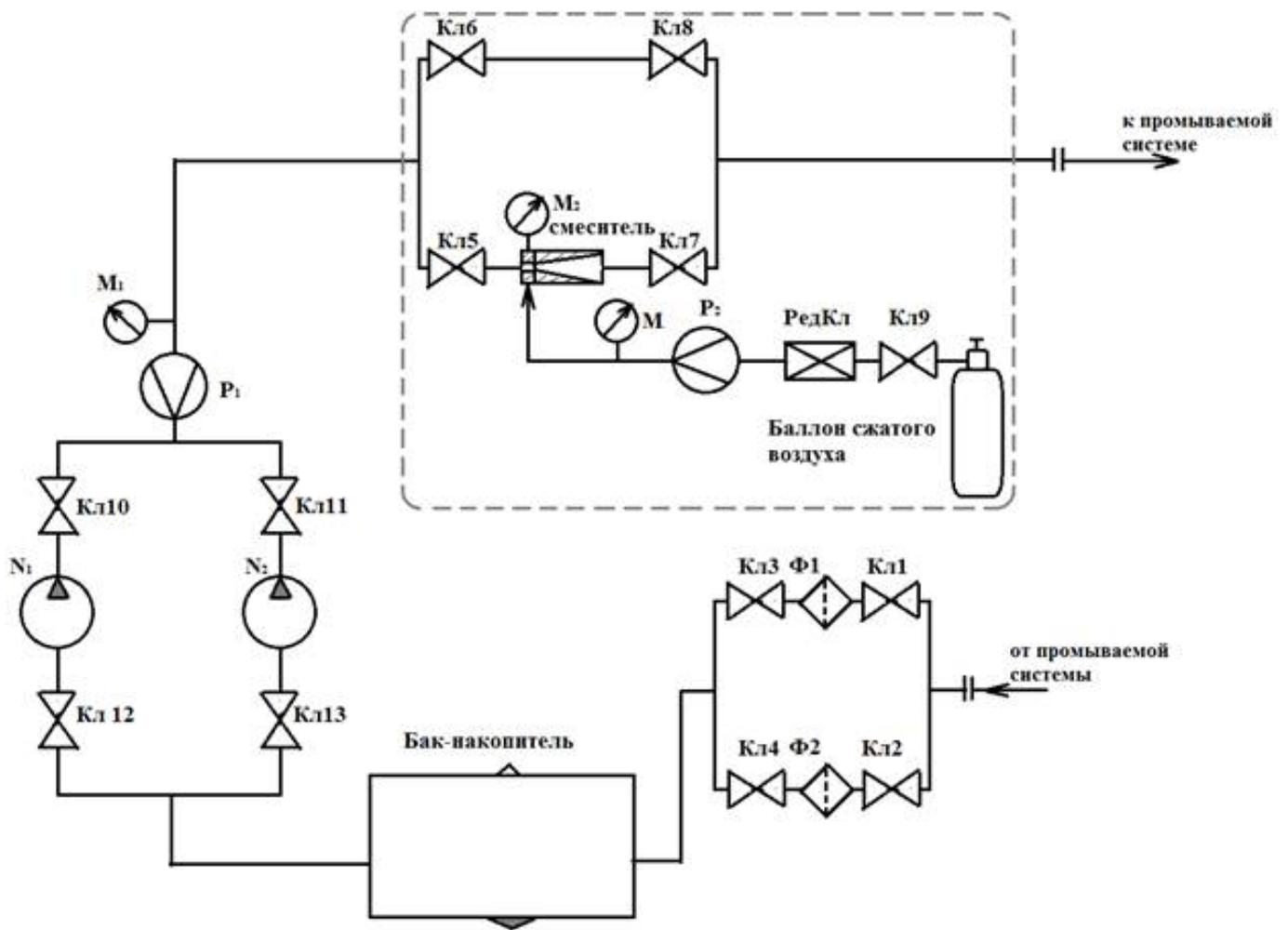


Рисунок 1. Принципиальная схема промывочного стенда с использованием пульсирующего двухфазного потока

Промывочный стенд содержит емкость с промывочной жидкостью (водой), при необходимости из которого осуществляется слив промывочной воды и травление имеющегося воздуха. Емкость лучше располагать в верхних точках системы. В промывочном стенде используется два параллельно включенных промывочных насоса N_1 и N_2 для увеличения суммарной подачи промывочной воды в системе. Насосы в случае необходимости могут работать в одиночку. Отсечение насосов можно осуществить клапанами Кл10, Кл11, Кл12, Кл13. Расходомер P_1 используется для измерения объемного расхода промывочной воды. Манометр M_1 предназначен для регистрации давления в промываемом однофазном потоке воды. Далее поток поступает к тройнику и в зависимости от решаемой задачи направляется в виде однофазного (через открытые клапаны Кл6 и Кл8, клапаны Кл5 и Кл7 при этом закрыты) или двухфазного потока (через открытые клапаны Кл5 и Кл7, клапаны Кл6 и Кл8 при этом закрыты) к промываемой системе. Подача воздуха в смеситель осуществляется при помощи блока подачи воздуха, на рисунке выделенным пунктирной линией. Воздух поступает от баллона сжатого воздуха при открытом клапане Кл9. Количество сжатого воздуха регулируется также клапаном Кл9. Проходя через редукционный клапан дроссельного типа РедКл давление воздуха понижается до требуемого значения. Далее воздух проходит через расходомер P_2 . Измеряется давление воздуха по манометру M_3 . И потом, через узкую трубу подается к узкой части смесителя. Давление в узкой части смесителя определяется по манометру M_2 . В смесителе поток воды и воздуха приобретает пузырьковый режим благодаря резонансным явлениям при совпадении частот собственных колебаний пузырьков воздуха и диффузорной части смесителя.

Для проведения интенсификации промывочных работ судовых систем потоком воды используется смеситель (рисунок 2), организующий подачу к промываемому трубопроводу

смеси воды и воздуха. Для обеспечения работы смесителя требуется подвод воздуха. Сжатый воздух подается от баллона через блок подготовки воздуха при помощи воздушного технологического трубопровода к смесителю. Смеситель устанавливается на напорной магистрали подачи промывающей воды от промывочного насоса и обеспечивает смесеобразование и одновременную пульсацию двухфазного потока с определенной частотой. Блок подготовки сжатого воздуха обеспечивает регулирование давления и расхода.

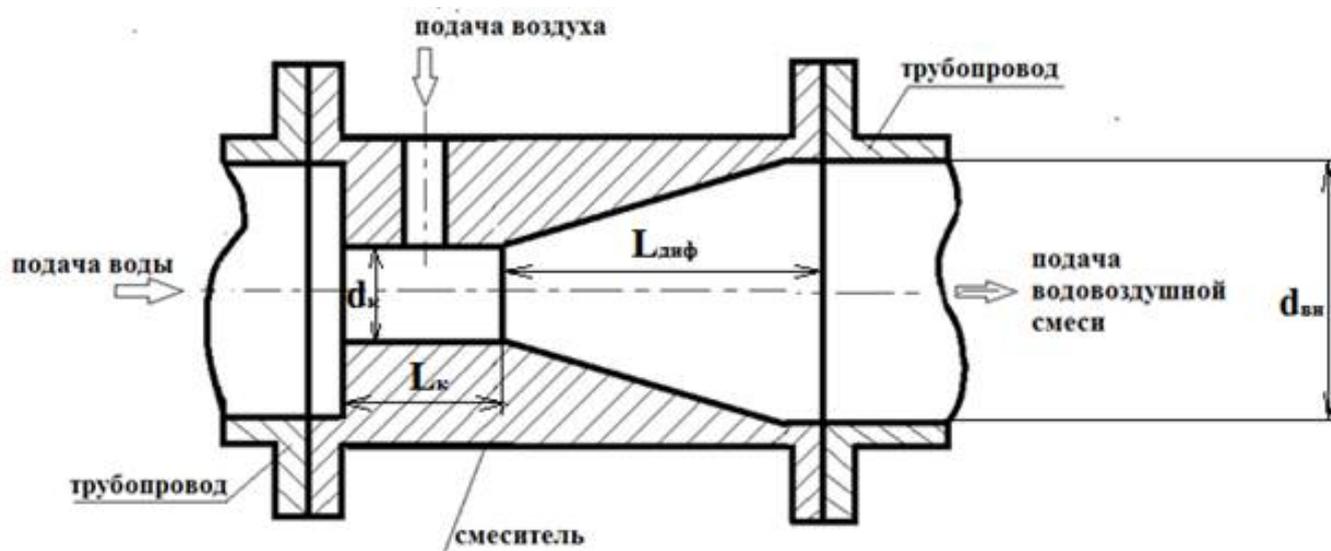


Рисунок 2 Смеситель-пульсатор двухфазного потока

Смеситель обеспечивает подачу подготовленного сжатого воздуха в промываемый поток и создает двухфазную промывающую пульсирующую среду.

Смеситель должен быть установлен на нагнетательной части трубопровода максимально близко к промываемой системе. Место установки должно быть в пределах доступа для подвода воздуха от баллона сжатого воздуха с целью подачи в смеситель сжатого воздуха. Воздух к смесителю должен проходить через блок подготовки воздуха и редукционный клапан. Блок подготовки воздуха размещается в безопасном и удобном для обслуживания месте. Для осуществления контроля за параметрами воздушной среды, проходящего через блок подготовки воздуха, необходимо предусмотреть установку манометров и расходомер в соответствующих местах, рисунок 1.

Объектом проведения испытаний по применению интенсифицирующей технологической операции является разветвленная судовая система судна на этапе ее промывки с использованием устройства смешения и одновременной пульсации двухфазного потока.

Целью испытаний данного стенда с устройством смешивания и пульсации двухфазного потока являются: проверка устройства смешивания теоретическим положениям, представленным в [3]; проверка работоспособности устройства смесителя; проверка соответствия оптимальных режимов работы; проверка безопасности проведения работ по промывке двухфазным пульсирующим потоком; определение эффективности применения данного способа промывки при заданных документацией критериях чистоты в реальных условиях.

Последовательность работ представлена на рисунке 3

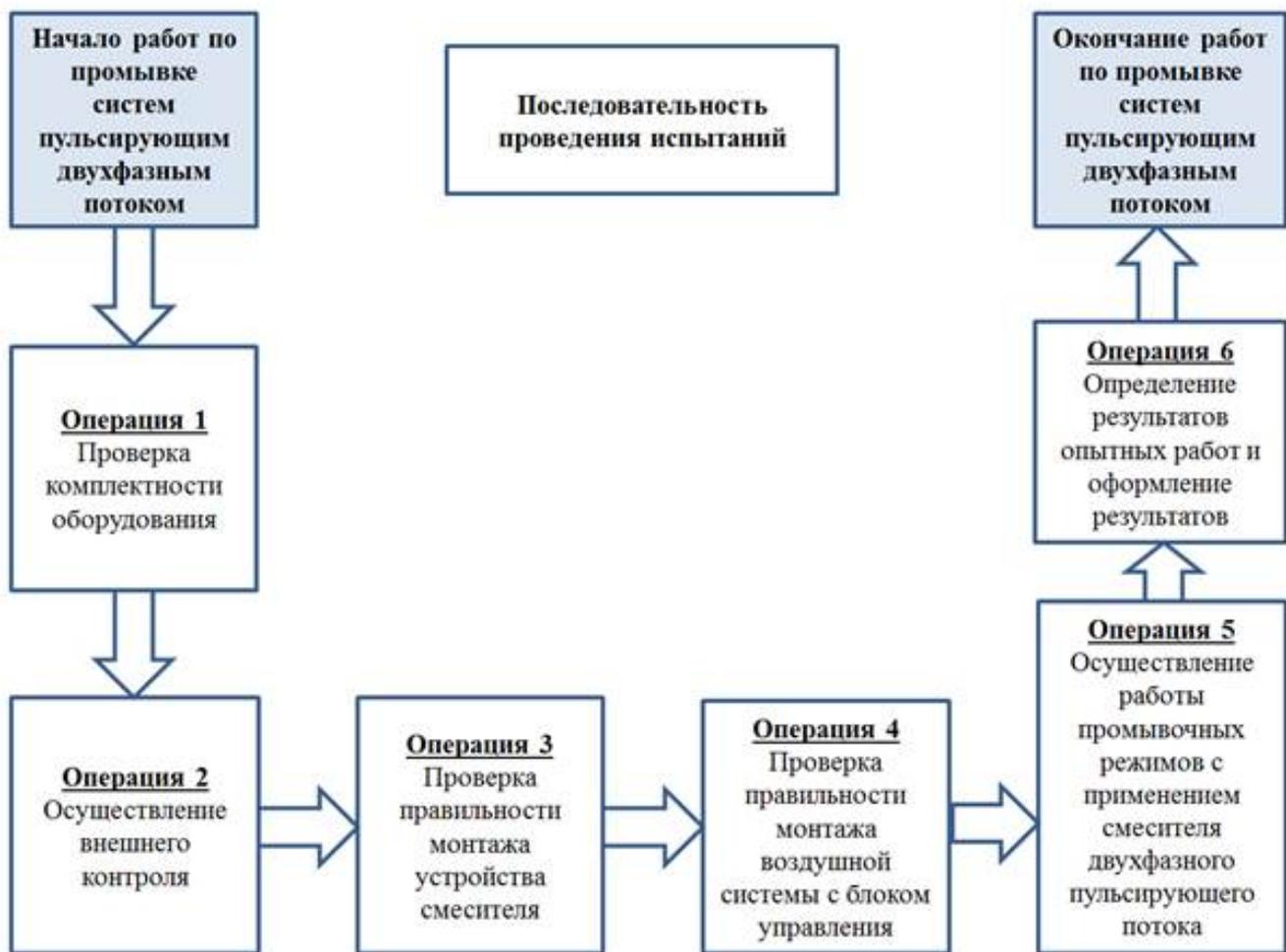


Рисунок 3. Последовательность проведения испытаний по промывке систем пульсирующим двухфазным потоком

Процесс промывки проводится с хронометражем затраченного времени в два цикла, соответствующий однофазной и двухфазной промывки для сравнения. Время проведения опытных промывок за цикл составляет 20 минут. Итого 40 минут.

1-ый цикл промывки (третий, пятый аналогично) – в течении заданного времени с контролем по часам в режиме промывка системы через контрольную сливную группу фильтров $\Phi 2$ промывочного стенда с контролем расхода по расходомеру P_1 (расход промывочной воды Q') и давления p_{m1} по манометру M_1 . Оставшаяся группа фильтров $\Phi 1$, а также подача воздуха отключены задвижками. Далее происходит отсечение группы фильтров $\Phi 2$ с дальнейшей их выемкой и просушкой (для осуществления контроля путем взвешивания сухого остатка). При этом промывочные насосы N_1 и N_2 не перестают осуществлять подачу воды. При отключенной группе фильтров $\Phi 2$ происходит замена на новые чехлы фильтров с опломбированием. Алгоритм промывки систем однофазным потоком представлен на рисунке 4.

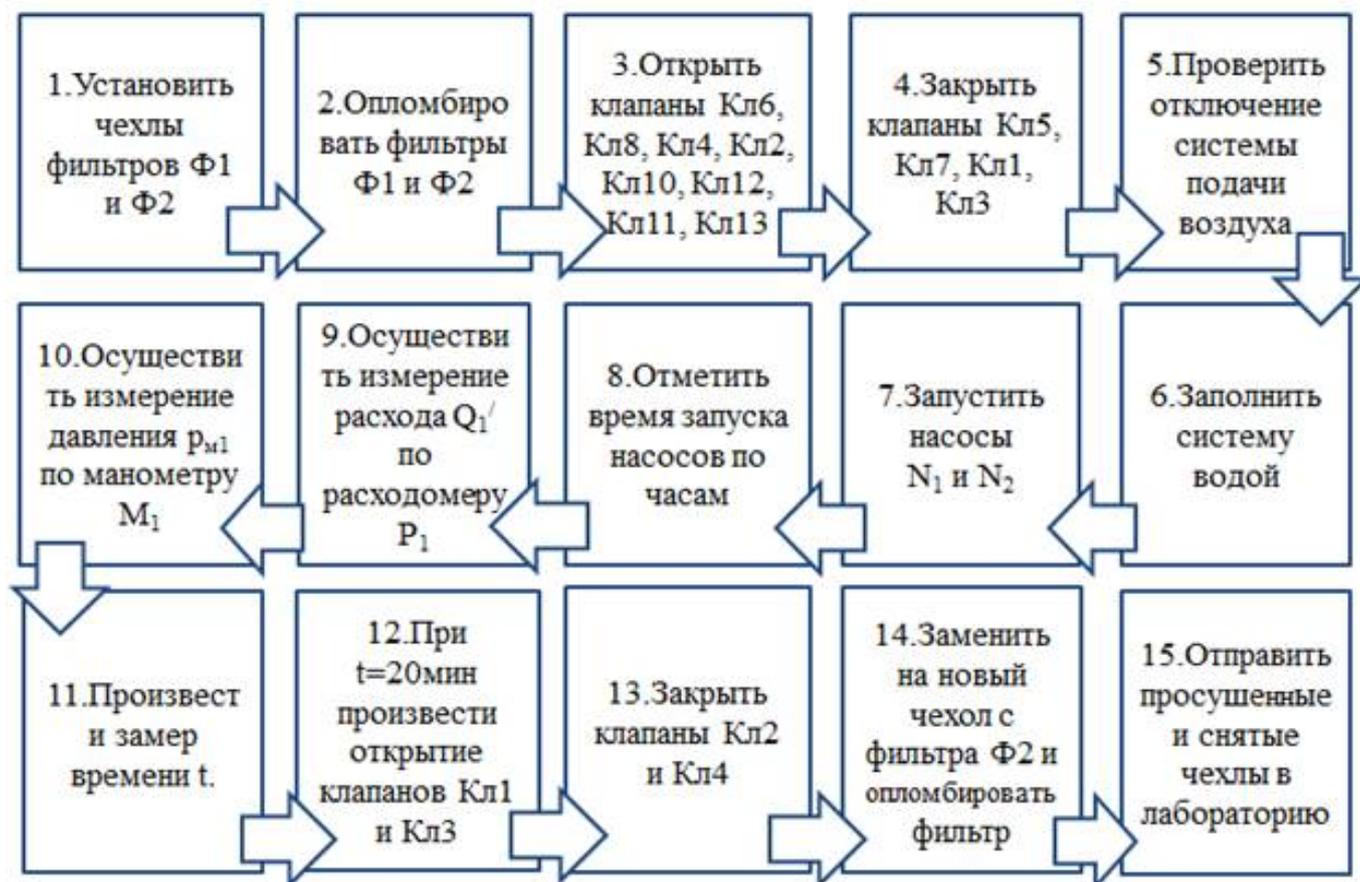


Рисунок 4. Первый цикл промывки однофазным потоком

2-ой цикл промывки (четвертый, шестой циклы аналогично) – в течении заданного времени с контролем по часам в режиме промывки системы через контрольную сливную группу фильтров Φ1 промывочного стенда с контролем расхода по расходомерам P_1 и P_2 (расход промывочной воды Q' и расход воздуха Q'') и давления p_{M1} воды по манометрам M_1 и давления смеси p_{M2} по манометру в смесителе M_2 с использованием смесителя для получения пульсирующего двухфазного потока. Задвижки, осуществляющие направление потока к группе сливных фильтров Φ1 открыты. Группа фильтров Φ2 отключена.

Для подачи воздуха в систему через смеситель необходимо осуществить открытие запорной арматуры на трубопроводе подачи воздуха Кл9 с предварительным выставлением редуцирующей арматуры РедКл в нужное положение. Давление воздуха p_{M3} по показаниям манометра M_3 должно быть больше давления промывочной воды в напорной магистрали, регистрируемого по показаниям манометра смесителя, то есть $p_{M3} > p_{M2}$. При этом, определяется расход воздуха по расходомеру P_2 (расход воздуха Q'') в воздушной подводящей трубе. Открытие арматуры Кл9 на воздушном трубопроводе проводится постепенно с одновременной корректировкой давления воздуха. Далее осуществляется увеличение расхода воздуха до оптимального значения.

В процессе промывки необходимо осуществлять контроль за давлением воздуха, давления воды перед смесителем по манометрам, расхода воды и воздуха по соответствующим приборам.

После окончания данного 20-минутного цикла прекращается подача воздуха, открываются задвижки Кл2 и Кл4, направляющие поток к группе фильтров Φ2, закрываются задвижки Кл1 и Кл3, направляющие поток на группу фильтров Φ1. Проводятся работы по извлечению и просушке чехлов группы фильтров Φ1 с одновременной их заменой на новые и последующим опломбированием. Алгоритм второго цикла промывки (с использованием двухфазного потока) представлен на рисунке 5.

Результаты испытаний первого и второго циклов (однофазной и двухфазной промывки соответственно) заносятся в таблицу 1.

Таблица 1.

Перечень параметров, подлежащих измерению в период проведения циклов промывки

Цикл	Вид примененного потока	Расход воды, Q' , м ³ /ч	Расход воздуха, Q'' , м ³ /ч	Объемное	Давление воздуха по манометру M_1 , p_{M1} , МПа	Давление воздуха в смесителе M_2 , p_{M2} , МПа
1	однофазный	Q'_1	-	-		
2	двухфазный	Q'_2	Q''_2	φ_2		



Рисунок 5. Второй цикл промывки двухфазным потоком

Переход между промывочными циклами осуществляется без остановки насосов с заменой фильтрующих элементов фильтров в зависимости от положения открыто/закрыто клапанов.

При завоздушивании системы в верхних точках на технологических участках системы необходимо предусмотреть устройство стравливания воздуха. Для этого производится остановка подачи воздуха через Кл9.

Методика оценки результатов опытной промывки судовых систем сводится к определению и сравнению скорости выведения загрязнителя U (мг/час) за определенные периоды. Оцениваются периоды работы промывочного контура однофазным и двухфазным потоком относительно первого и второго цикла, с занесением полученных данных в таблицу 1.

Скорость выведения загрязнителя определяется по формуле:

$$U_{\text{цикл}} = \frac{m_{\text{загр цикл}}}{t_{\text{цикл}}} 60, \quad \text{мг/час.}$$

Таким образом, проведена подготовка к выполнению и обработке результатов опытных работ по промывке с использованием устройства смешивания и пульсации двухфазного потока с

целью получения ускорения промывочных работ.

Список литературы:

1. Александров Н.И., Канаев Д.Н., Лямин П.Л., Лебедева Е.Г. Новые средства технологического оснащения для промывки судовых водяных систем и оборудования // Международный научно-исследовательский журнал. - Екатеринбург. - 2014. - № 2-1 (21). - С. 93-95.
2. Лебедева Е.Г. Интенсификация технологии промывки судовых систем пульсирующим двухфазным потоком: дисс. ... канд. тех. наук. - Санкт-Петербург, 2012.
3. Лебедева Е.Г. Определение основных элементов пульсатора двухфазного потока для осуществления промывки судовых систем // Морские интеллектуальные технологии. - 2024. - № 2-1 (64). - С. 74-81.
4. Соловьев Б.В. Очистка судовых систем от технологических загрязнений. - Л.: Судостроение, 1977. - 75 с.