

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи.

ЧУРА Николай Николаевич

ОЧИСТКА СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ
ВОД В ПОЛЯХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ И
ГРАВИТАЦИОННО - ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Специальность 05.08.05 - Судовые энергетические установки и
их элементы (главные и вспомогательные)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса 1994

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00810400 (D)

ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи.

ЧУРА Николай Николаевич

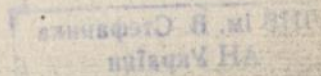
ОЧИСТКА СУДОВЫХ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ
ВОД В ПОЛЯХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ И
ГРАВИТАЦИОННО - ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

Специальность 05.08.05 - Судовые энергетические установки и
их элементы (главные и вспомогательные)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук
профессор СКРИПНИК В.Н.

Одесса 1994



42 - 29, +35

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Одесской государственной морской академии

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Скрипник В. Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Сурин С. М.

кандидат технических наук
Анфиногентов В. Е.

Ведущая организация: Проектно-исследовательский и
научно-исследовательский
институт морского флота
Черноморниипроект

Защита состоится 21 апреля 1994 г в 10 час. на засе-
дании специализированного совета К 101.01.01 при Одесс-
кой государственной морской академии: 270029, гор Одесса,
ул Дидрихсона, 8, ОГМА

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОГМА

Статьи на автореферат в 2-х экзemplярах, заверенных
печатью учреждения, просим высылать в адрес специализи-
рованного совета

Автореферат разослан "10" *апрель* 1994 г

Ученый секретарь специализированного совета,
доктор технических наук, профессор

Калитонов И. В. Калитонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эксплуатация судов всегда сопровождается опасностью нефтяного загрязнения акваторий, которое поступает от СЭУ в виде нефтесодержащих трюмных вод, а также балластных и промывочных вод танкеров. Ввиду того, что в общем потоке нефтесодержащих вод (НСВ) определяющая роль принадлежит балластным, их обезвреживание представляет наиболее актуальную задачу. Как правило, сброс балластных вод приходится осуществлять во внутренних водоемах (портах). Это требует установки на судах высокопроизводительных очистных систем с коэффициентом загрузки не более 7%, что представляется технически и экономически нецелесообразным. Более перспективным следует считать перенос природоохранного оборудования на берег, что вылилось в создании специализированных комплексов очистки судовых НСВ. Тем не менее и на таких комплексах имеется резерв повышения очистной способности. Это связано с наличием развитой гидравлической сети (балластопроводов) для подачи НСВ с судов на комплекс. Практика показывает, что балластопроводы помимо основной — транспортной функции могут успешно решать задачи по извлечению нефти в качестве отстойников предварительной очистки НСВ.

Цель работы: создание очистной системы, базирующейся на существующую сеть балластопроводов, используя их в качестве импровизированных тонкослойных отстойных секций, дополненных устройствами для сбора и удаления выделившейся из потока нефти.

Задачи исследований: анализ механизма разделения водонефтяных эмульсий в поле турбулентных пульсаций и влияния его

составляющих на интенсивность процесса; изучение закономерностей изменения полей концентраций нефти в горизонтально ориентированных турбулентных потоках; выявление условий устойчивого существования капель нефти в поле центробежных сил с целью организации немумулирующих режимов функционирования гидроциклонов; установление закономерностей разделения эмульсий, отбираемых из балластопроводов в низконапорных гидроциклонах; практическая реализация полученных данных.

Научная новизна выполненных исследований состоит в установлении:

закономерностей изменения полей концентрации нефти при движении водонефтяных эмульсий в горизонтально ориентированных потоках;

параметров, обеспечивающих немумулирующий режим работы гидроциклона, исходя из найденных значений критических размеров устойчивого существования капель дисперсной фазы в поле центробежных сил;

параметров математической модели процесса разделения водонефтяных эмульсий в полях гравитационно-центробежных сил.

Практическая значимость: на основе предлагаемых к использованию математических моделей процессов разделения реальных эмульсий в полях турбулентных пульсаций и гравитационно-центробежных сил разработана и апробирована в производственных условиях на морской нефтебазе "Шесхарис" очистная система типа "балластопровод-гидроциклон". Достигнутый при этом экономический эффект составил 89,6 тыс.руб. в год (в ценах 1990 г.).

На защиту выносятся: вид и параметры математических

моделей процессов разделения водонефтяных эмульсий в полях турбулентных пульсаций и гравитационно-центробежных сил; методика расчета критических размеров устойчивого существования капель дисперсной фазы в поле центробежных сил, положенная в основу организации немумулирующих режимов работы гидроциклонов; очистная система типа "балластопровод-гидроциклон".

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на научно-технической конференции "Вопросы обеспечения охраны окружающей среды при эксплуатации судов и рекуперации вторичных ресурсов" (г. Николаев, 1986 г.); первом советско-американском симпозиуме "Охрана окружающей среды" (г. Ленинград, 1990 г.); конференции "Защита водного и воздушного бассейнов от загрязнений при постройке и эксплуатации судов" (пос. Советский, 1990 г.); конференции преподавательского состава ИВММУ (г. Мурманск, 1990 г.), а также конференциях преподавательского состава ИГМА (г. Новороссийск, 1985-1992 гг.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы отражены в 10 публикациях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, изложена на 113 стр. машинописного текста, включая 26 рис., 7 табл., список литературы из 112 наименований и приложение.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ источников образования и способов очистки судовых НСВ на предмет выбора приемлемого варианта их обезвреживания. Установлено, что количество балластных вод на один-два порядка превышает интенсивность

накопления трюмных вод. Это предопределяет необходимость первоочередного решения задачи повышения эффективности очистки применительно к балластным водам.

Один из путей решения этой проблемы, связанный с оборудованием современных танкеров танками изолированного балласта все же имеет определенные изъяны, т.к. вместимость их составляет лишь 30...35% дедвейта и при сложных погодных условиях оказывается недостаточной. Статистический анализ данных по сдаче НСВ на очистной комплекс морской перевалочной нефтебазы "Шесхарис" в период 1984-1992 гг. показывает, что на фоне снижения общего количества балластных вод, поступающих с танкеров, доля, приходящаяся на суда, оборудованные танками изолированного балласта практически не изменилась и составила 20...25%. Таким образом, даже при полном обновлении танкерного флота проблема очистки балластных вод останется актуальной.

Ввиду того, что сбросы балластных вод по условиям эксплуатации судов носят залповый характер, организация их очистки на борту представляется нецелесообразной. Более существенный эффект может быть достигнут при переносе очистных устройств на берег и включение их в состав специализированных комплексов. В настоящее время содержание нефти в очищенной воде на нефтебазе "Шесхарис" составляет 17...20 мг/л, что при годовом объеме перерабатываемых вод до 2 млн.м³ приводит к ощутимому загрязнению акватории Черного моря. Одна из причин такого явления состоит в повышенном в 2-3 раза относительно расчетного среднем нефтесодержании исходной НСВ - (8...12) · 10³ мг/л. Отсюда налицо один из резервов повышения эффективности функционирования очистных комплексов - снижение нагрузки на сооружения за счет предварительного осветле-

ния НСВ.

В этой связи достаточно весомый вклад могут внести горизонтальные участки балластопроводов, фактически играющие роль секций тонкослойных отстойников, в которых всплывшие капли нефти концентрируются в зоне верхней образующей труб. Для извлечения нефти из обогащенного ею слоя до того, как НСВ поступят в отстойник, удобно использовать гидроциклоны, смонтированные непосредственно на балластопроводе. При разработке очистной системы типа "балластопровод-гидроциклон" основой является выбор корректной методики расчета ее очистной способности.

Анализ имеющихся расчетных зависимостей для определения очистной способности тонкослойных отстойников, созданных на основании обобщения результатов разноплановых исследований не позволяет использовать их применительно к балластопроводам, где поток имеет высокую степень турбулизации ($Re = (2,2 \dots 9,5) \cdot 10^5$). Таким образом, для анализа эффективности функционирования балластопроводов требуются иные подходы. По-видимому, в первую очередь следует отказаться от представления о балластопроводе как о собственно очистном аппарате, т.к. эффект разделения эмульсий является лишь сопутствующим процессу транспортировки НСВ и фактически неуправляемым. В контексте поставленных задач, связанных с удалением из потока выделившейся нефти, в качестве достаточно информативного параметра удобно использовать данные о месте и интенсивности ее накопления. Это условие требует установить характер распределения концентраций в живых сечениях балластопровода и изменения их под воздействием турбулентных пульсаций по его длине. Наличие такой информации в свою очередь даст возможность осуществить корректный выбор

исходных данных для расчета характеристик гидроциклонов, предназначенных для сбора и удаления нефти из балластопроводов.

Одним из факторов, сдерживающих применение гидроциклонов для очистки НСВ является недостаточно высокая очистная способность, что в каждом конкретном случае требует поиска рациональных конструкций сообразно с условиями их работы. При этом основной причиной является вероятность вторичного эмульгирования капель нефти в поле центробежных сил. В связи с этим задача организации неэмульгирующих режимов течения жидкости в гидроциклонах требует отдельного решения с учетом конкретного назначения аппарата - отбора и удаления нефти из потока НСВ в балластопроводе.

Вследствие высокой сложности аналитического описания процесса разделения жидкостей в гидроциклонах подавляющее число расчетных зависимостей являются эмпирическими. Обобщая накопленный экспериментальный и производственный материал, следует отметить, что даже наиболее простые зависимости вида:

$$Q = \kappa_1 d_{вх}^2 \sqrt{H} = \kappa_1 (\kappa_2 D_r)^2 \sqrt{H} ;$$

где κ_1 и κ_2 - эмпирические коэффициенты, учитывающие комплексное влияние условий входа на течение жидкости и связь диаметров входного отверстия $d_{вх}$ и цилиндрической части гидроциклона D_r ;

Q - производительность гидроциклона, м³/с;

H - напор гидроциклона, м,

связывающие основные режимные и конструктивные характеристики гидроциклона, отличаются широким диапазоном варьирования

значений коэффициентов. Поэтому определяющей базой для выбора оптимального соотношения между пропускной и очистной способностью при разработке гидроциклонов приходится использовать результаты экспериментальных исследований, выполненных в реальных условиях в натуральном масштабе.

Во второй главе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса гравитационного разделения судовых НСВ в поле турбулентных пульсаций. Сформированная на базе фундаментальных законов физики модель процесса отражает следующий механизм переноса дисперсной фазы из объема дисперсионной среды: на фоне продольного перемещения эмульсии имеет место поперечный перенос капель под действием архимедовых сил и за счет турбулентной диффузии при наложении эффекта межкапельной коалесценции в турбулентном потоке. Адекватная ей математическая модель, в которой учитывается совместное влияние турбулентных пульсаций и архимедовых сил на характер распределения частиц в пределах поперечных сечений потока имеет вид:

$$u \bar{c} + \mathcal{D}_T \frac{d\bar{c}}{dy} = \text{const}, \quad (I)$$

где u - скорость всплытия (осаждения) капель, м/с;
 \bar{c} - осредненная концентрация капель на расстоянии y от верхней либо нижней образующей трубы;
 \mathcal{D}_T - коэффициент турбулентной диффузии.

После интегрирования (I) получена зависимость для оценки локального значения объемной концентрации капель в пределах выделенного слоя потока НСВ:

$$\bar{c} = \bar{c}_0 \exp\left(-u \int_0^y \frac{dy}{\mathcal{D}_T}\right), \quad (2)$$

где \bar{c}_0 - средняя объемная концентрация капель.

Однако попытки реального использования полученной зависимости (2) для прогнозирования значений концентраций по высоте поперечных сечений балластопроводов оказались безуспешными. Это объясняется тем, что она достаточно хорошо описывает процесс в микрогетерогенных системах с размерами частиц $10^{-3} \dots 10$ мкм при соответственно низких концентрациях. Выполненные нами исследования состава реальных НСВ в условиях движения по балластопроводам показали, что диапазон размеров капель нефти и форм их существования значительно шире, что вызывает существенные изменения структуры турбулентного потока.

Таким образом, для реальных расчетов с тем, чтобы обеспечить возможность интенсификации процесса разрушения эмульсий и улучшить очистной процесс при течении жидкости в балластопроводах требуются зависимости иного толка, в которых учитываются факторы, определяющие условия межкапельной коалесценции в поле турбулентных пульсаций. Исследуемая математическая модель процесса базируется на учете изменения во времени в идеализированных условиях числа капель n_i диаметром d_i , которое с одной стороны возрастает в результате слияния более мелких капель диаметром d_j и d_e , а с другой — уменьшается за счет последующего слияния уже образовавшихся диаметром d_i с исходными — d_e :

$$\frac{dn_i}{dt} = 2\pi \sum_{\ell+j=i} D_T(d_\ell+d_j)n_\ell n_j - 4\pi n_i \sum_{\ell=1} D_T(d_\ell+d_i)n_\ell \quad (3)$$

В виду того, что зависимость (3) интегрированию не поддается, проведено ее упрощение, исходя из допущений:

в начальный момент времени эмульсия является монодисперсной с каплями нефти среднего размера d_1 ;

в ходе коалесценции имеет место только попарное слияние капель одинакового размера, т.е. на первом этапе под воздействием турбулентных пульсаций n_0 капель диаметром d_1 переходит в $n_1 = 1/2 n_0$ капель диаметром $d_2 = \sqrt[3]{2} d_1$. На втором этапе n_1 капель переходят в $n_2 = 1/4 n_0$ диаметром $d_3 = \sqrt[3]{4} d_1$ и т.д. В результате удалось выполнить интегрирование зависимости (3) и получить ее решение, которое при начальных условиях: $t = 0, n_1 = n_0, n_2 = 0$ имеет вид:

$$n_1 = \frac{n_0}{1 + 4kKd_1 n_0 \mathcal{D}_T t}, \quad (4)$$

$$n_2 = n_0 \left(1 - \frac{1}{1 + 4kKd_1 n_0 \mathcal{D}_T t} \right),$$

где K - коэффициент эффективности взаимодействия капель;

t - время коалесценции, с.

Вполне очевидно, что при $t \rightarrow \infty, n_1 \rightarrow 0, n_2 \rightarrow \frac{1}{2} n_1$.

Интегральная характеристика эмульсии - концентрация капель нефти c_i определенной дисперсности с учетом соотношения $c_i = \frac{1}{6} n_i \pi d_i^3$ может быть найдена из зависимостей:

$$c_1 = \frac{c_0}{1 + \frac{24kC_0 \mathcal{D}_T t}{d_1^2}}, \quad (5)$$

$$c_2 = c_0 \left(1 - \frac{1}{1 + 24kC_0 \mathcal{D}_T t / d_1^2} \right).$$

Отсюда следует, что расчетное время достижения заданной концентрации капель определенного диаметра, например d_1 , после попарного слияния некоторой их части составит:

$$t_1 = \frac{(c_0 - c_1) d_1^2}{24kC_0 c_1 \mathcal{D}_T}.$$

Характеристики процесса турбулентной коалесценции иллюстрируются графиками (рис. I) применительно к условиям

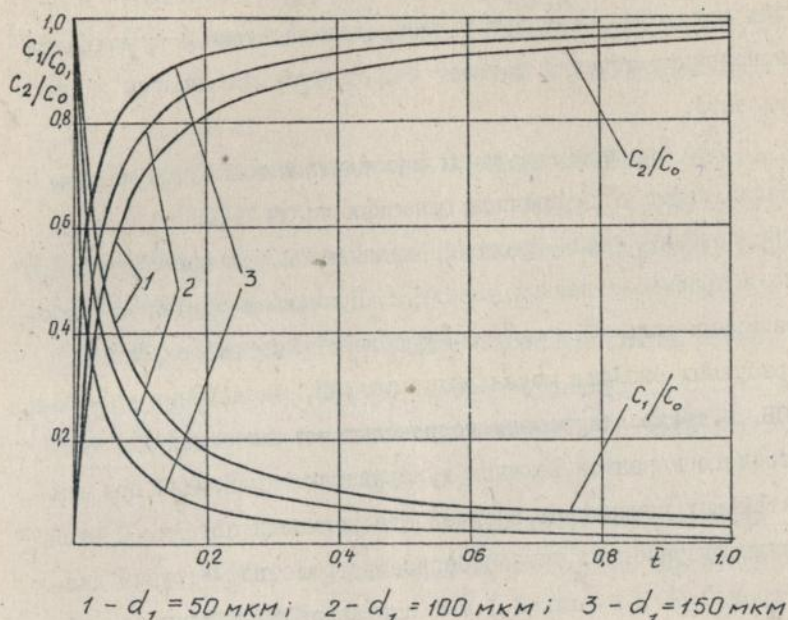


Рис. I

течения реальных НСВ по балластопроводу $D = 0,8$ м со средней скоростью $v = 1,106$ м/с ($Re = 6,32 \cdot 10^5$), средней исходной относительной концентрацией $c_0 = 0,01$ и принятых $K = 1 \cdot 10^{-4}$ и $D_T = 3,3 \cdot 10^{-3} D v Re^{-0,25}$. В расчетах использовались зависимости (5), а также варианты исходных размеров капель в реальном диапазоне $d_1 = 50 \dots 150$ мкм. Как видно, на начальном этапе определяющее влияние на скорость коалесценции оказывает концентрация капель исходного размера, причем при увеличении их диаметра процесс коалесценции интенсифицируется. Это можно объяснить их большей инерционностью.

Таким образом, положительная роль турбулентных пуль-

саций в процессе разделения эмульсий очевидна, т.к. они способствуют росту размеров капель и соответственно скорости их всплытия. В то же время наличие пульсаций вносит искажения в характер распределения капель в пределах поперечных сечений потока, что требует постановки эксперимента.

При экспериментальных исследованиях полей концентраций нефти в поперечных сечениях вдоль балластопровода предпочтение было отдано проведению опытов непосредственно в производственных условиях. Причинами отказа от лабораторных условий послужили проблематичность сохранения требуемых свойств модельных эмульсий, адекватных реальным НСВ, а также отсутствие корректных зависимостей для масштабного переноса величин турбулентных пульсаций при значительных изменениях внешней стесненности потока. С этой целью разработано пробоотборное устройство - трубка диаметром 0,01 м и длиной 1 м с регулировочным клапаном на ее выходном конце, способное перемещаться в вертикальной плоскости. Для исследования характера изменения профиля концентрации по длине балластопровода второе такое же устройство было установлено в пределах его прямого горизонтального участка на расстоянии $\Delta L = 130$ м от первого. При выполнении экспериментов учитывалось время перемещения НСВ по балластопроводу между контрольными сечениями 1 и 2. Соблюдение условия представительности проб НСВ осуществлялось за счет поддержания постоянной пропорции между темпом отбора проб и расходом потока по балластопроводу.

Основанная на экспериментальных данных математическая модель вида $y = f(x_1, x_2, x_3)$ отражает зависимость относительной концентрации нефти в сечениях 1 и 2:

$$y_1 = \frac{C_{1i}}{C_{1max}} \quad \text{и} \quad y_2 = \frac{C_{2i}}{C_{2max}},$$

где C_{1i}, C_{2i} - концентрация нефти на i -том уровне (h/D) в соответствующем сечении балластопровода, мг/л;

C_{1max}, C_{2max} - концентрация нефти в районе верхней образующей балластопровода при $h/D = 0,99$, мг/л.

от параметров, определяющих распределение концентрации по сечению балластопровода:

$X_1 = Re$ - критерий Рейнольдса, характеризующий режим движения НСВ по балластопроводу;

$X_2 = h/D$ - безразмерная высота сечения от нижней образующей балластопровода;

$X_3 = C_{cp}$ - осредненная по высоте сечения концентрация нефти, определяющая качественную характеристику НСВ, мг/л.

В результате обработки данных установлено, что для обоих сечений факторы $X_1 (Re)$ и $X_3 (C_{cp})$ на фоне статистического шума являются незначительными. Таким образом, адекватными признаны зависимости:

для сечения 1: $y_1 = 0,1036 + 0,8952 (h/D)^{13,1}$,

для сечения 2: $y_2 = 0,0308 + 0,9691 (h/D)^{19,4}$.

Перераспределение концентрации нефти в пределах прямого горизонтального участка балластопровода длиной ΔL :

$$y = \frac{C_{1i}}{C_{1max}} - \frac{C_{2i}}{C_{2max}}$$

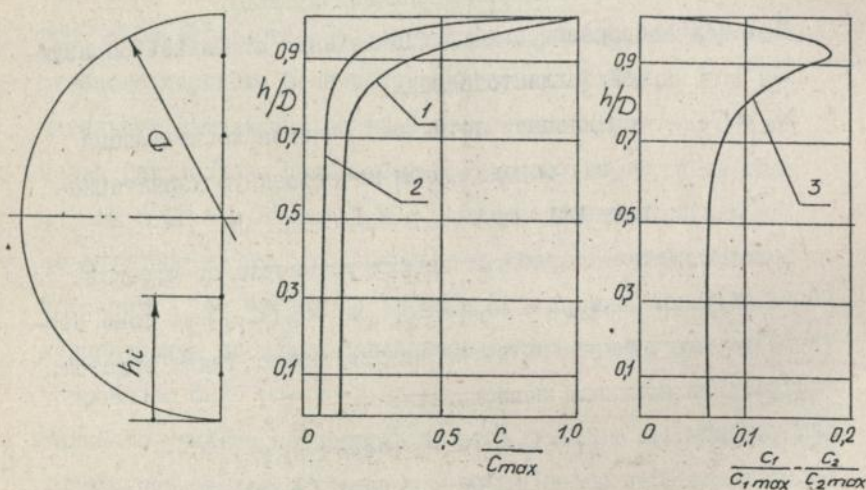
может быть найдено при помощи зависимости:

$$y = 0,07278 + 0,8952 (h/D)^{13,1} [1 - 1,078 (h/D)^{6,3}] \quad (6)$$

В результате анализа функции (6) на экстремум

установлено, что максимум разности относительных концентраций в сходственных точках сечений I и 2 $-y_{max}=0,183$ приходится на $h/D = 0,928$.

Полученные зависимости отвечают условиям основного периода дебалластировки, когда исходная концентрации нефти изменяется в незначительных пределах и в среднем составляет 100...200 мг/л. Графики изменения относительной концентрации по высоте сечений I и 2, а также разности концентраций в сходственных точках сечений приведены на рис.2. Для большей



I - сечение I; 2 - сечение 2; 3 - разность концентраций в сечениях

Рис.2

наглядности оси графиков развернуты на 90 град и условно приведены к плоскости живых сечений балластопровода. Как видно, характер зависимостей объективно коррелирует с прогнозом, основанным на принятой модели процесса гравитационного разделе-

ния водонефтяных эмульсий в поле турбулентных пульсаций. Наличие высококонцентрированного слоя является показателем эффективной работы балластопровода в качестве осветлителя НСВ даже в случае относительно низкого содержания нефти в них. В период резких скачков нефтесодержания доля нефти в высококонцентрированном слое может только возрасти. Расчеты показывают, что осветление НСВ, отбираемых из этого слоя в количестве не превышающем 0,1 общего расхода, снижает среднее содержание нефти на 55...62%. Эта задача отводится напорным гидроциклонам, которые технологически функционируют не столько с позиций высокой степени очистки воды, возвращаемой в основной поток, сколько для обезвоживания отсепарированной нефти.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов разделения НСВ в поле гравитационно-центробежных сил, а также практическая реализация результатов работы. Для установления границы устойчивости капель к диспергированию в пределах гидроциклона рассмотрим каплю нефти, имеющую форму шара диаметром d , вращающуюся вместе с потоком НСВ по траектории радиусом r , равным внутреннему радиусу корпуса гидроциклона, с окружной скоростью v , равной средней скорости жидкости во входном отверстии. При этом будем полагать равными осевые скорости капли и потока. Перемещение капли в радиальном направлении вызывается действием сил: $F_c = \rho_n \frac{\pi d^3}{6} \frac{v^2}{r}$ - центробежной; $F_A = \rho_B \frac{\pi d^3}{6} \frac{v^2}{r}$ - радиальной; $F_c = 3\pi d \mu v_2$ - силы сопротивления, возникающей в вязкой дисперсионной среде.

Здесь: ρ_n, ρ_B - плотности нефти и воды, кг/м³; μ - динамическая вязкость потока (воды), Па·с; v_2 - радиальная скорость капли. При установившемся движении силы уравно-

вешиваются, откуда определяется величина v_2 :

$$v_2 = \Delta \rho d^2 v^2 / 18 \mu z.$$

Т.к. нефть обладает подвижностью, в капле под действием трения возникают внутренние напряжения, приводящие к ее деформации: удлинению в направлении действия сил с последующим разрывом и образованием двух новых капель в форме шара с минимальной свободной поверхностью. При этом наибольший интерес представляет зависимость критического размера устойчивых в деформированном состоянии капель от режимных характеристик движущейся в гидроциклоне жидкости. Допустим, что капля имеет вид цилиндра с полусферическими основаниями радиусом $r_1 = d_1/2$. Нетрудно показать, что при величине деформации капли $l = d_1$ (рис.3), ее поверхность

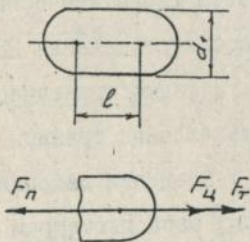


Рис.3

удваивается по сравнению с шарообразной диаметром d_1 .

Анализ опытных данных показывает, что дальнейшее увеличение напряжений ведет к разрыву капли.

Представим деформированную каплю в разрезе и предположим, что на одну из ее половин дей-

ствуют силы, стремящиеся разрушить каплю. Этому препятствуют силы поверхностного натяжения: $F_n = \pi d_1 \sigma$, где σ — поверхностное натяжение, Н/м. Поскольку сопротивление движению капли обусловлено силой трения F_T , пропорциональной ее поверхности S , то $F_T = (F_c / \pi d_1 l) d_1 \frac{dS}{dl}$. Исходя из условия равновесия сил, действующих в процессе деформации: $F_n = F_c + F_T$, получим:

$$\pi d_1 \sigma = \frac{F_c}{\pi d_1 l} \left[\frac{\pi d_1^3}{6} + \frac{\pi d_1^2}{4} l \right] / 3 \mu v_2 d_1. \quad (7)$$

Интегрирование зависимости (7) в пределах $\ell = 0$ (при этом капля имеет форму шара диаметром $d = \sqrt[3]{2,5} d_1$) и $\ell = d_1$ позволяет получить ее решение в виде:

$$d_1 = \sqrt{\frac{36z}{v^2(\rho_H + 0,158\Delta\rho)}} \quad (8)$$

В ходе исследований, проведенных на экспериментальном гидроциклоне $z = 5 \cdot 10^{-2}$ м установлена связь между эффектом очистки и окружной скоростью потока эмульсий со средними размерами капель нефти $(0,8 \dots 1,5) \cdot 10^{-3}$ м. При увеличении скорости от 1 до 4 м/с для каждого из видов эмульсии имеется критическая точка, отражающая начало перехода к режиму эмульгирования и соответственно к падению эффекта очистки, причем с увеличением размера капель критическая точка смещается в область пониженных скоростей. Координаты $v_{кр}$ хорошо коррелируют с их значениями, найденными по величине d_1 из зависимости (8), которая использована при разработке низконапорного гидроциклона в составе очистной системы.

Экспериментальные исследования очистной системы типа "балластопровод-гидроциклон" выполнялись в производственных условиях на реальных судовых НСВ, что вызвано отсутствием надежных методик масштабных переходов при использовании данных лабораторных испытаний моделей инерционных аппаратов. Основным элементом системы является конический гидроциклон 3 (рис.4), смонтированный на фланце вертикального патрубка 1 таким образом, что в полости последнего находится тангенциальный входной патрубок 2 гидроциклона. Коническая часть гидроциклона вместе с вертикальными перегородками 7 расположена в потоке жидкости балластопровода, сужая его живое сечение. В вершине конуса установлен нижний сливной патрубок 4 отвода осветленной воды, имеющий

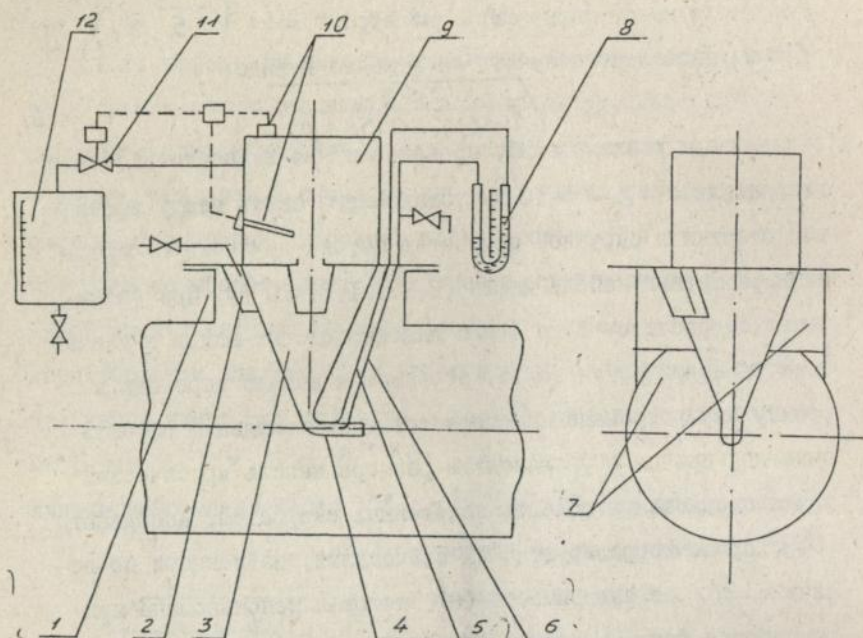


Рис. 4

вид колена, развернутого выходным сечением по направлению движения потока НСВ в балластопроводе. Верхнее сливное отверстие гидроциклона сообщает его с нефтесборником 9, имеющим электромагнитный клапан отвода отсепарированной нефти II, управляемый импульсами датчиков сигнализаторов уровня 10 типа СУС-16. Измерение расходных характеристик гидроциклона по нефти производилось посредством мерной емкости 12, а по осветленной воде — по дифференциальному манометру 8 с помощью трубок динамического 6 и статического 5 давлений.

При выполнении эксперимента в качестве определяющих

факторов приняты:

C_H - начальная концентрация нефти на входе в гидроциклон, мг/л;

Q - производительность гидроциклона, м³/ч;

$d_{н.сл}$ - диаметр нижнего сливного патрубка гидроциклона, мм.

Откликом изучаемого процесса принят эффект очистки:

$$\mathcal{E} = (C_H - C_{н.сл}) / C_H,$$

где $C_{н.сл}$ - концентрация нефти в осветленной воде на выходе из гидроциклона, мг/л.

В результате обработки экспериментальных данных на уровне значимости $q = 0,05$ получена математическая модель процесса:

$$\mathcal{E} = 1 - \exp[-2,93 C_H^{0,23} Q^{1,36} d_{н.сл}^{-0,32} (1 - 0,358 Q)]. \quad (9)$$

При этом она объясняет 96,02% статистического разброса экспериментальных данных.

В завершающей части работы соответственно с принятой ее концепцией оба рассмотренных объекта исследований объединены в систему типа "балластопровод-гидроциклон". К примеру, при среднем расходе НСВ в балластопроводе, равном 1800 м³/ч в целях удаления при перекачке до 40% нефти потребуются гидроциклон производительностью около 95 м³/ч. А для вариантов удаления 70% и 85% всей массы нефти требуемая производительность должна составить в среднем 250 м³/ч и 450 м³/ч соответственно. Однако поступление основной массы нефти в составе исходной НСВ характерно для периодов с высокой, "пиковой" концентрацией и при этом средняя концентрация потока НСВ выше на 2...3 порядка. В этих случаях гидроциклон работает преимущественно в режиме слива отсепарированной нефти, при этом его отбирающая способность гораздо выше.

Таким образом, поставленные в диссертационной работе задачи исследований нашли положительное разрешение. Установлены закономерности изменения полей концентраций нефти в горизонтально ориентированных турбулентных потоках. Исходя из найденных значений критических размеров устойчивого существования капель дисперсной фазы в поле центробежных сил установлены параметры, обеспечивающие немумлигулирующий режим работы гидроциклона. Полученные при этом данные положены в основу разработки новой конструкции низконапорного гидроциклона. Установлены параметры математической модели процесса разделения водонефтяных эмульсий в полях гравитационно-центробежных сил. Созданная для очистки судовых НСВ система типа "балластопровод-гидроциклон", использующая основные положения проведенных исследований, апробирована в производственных условиях.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Чура Н.Н., Степанец Л.Г., Егоров Э.Н. Разделение нефтесодержащих вод в центробежном поле // Нефтяная промышленность. Сер. Коррозия и защита окружающей среды: Экспр.-инф. / ВНИИОЭНГ. - М.: вып. 7. - 1985. - С. 14-19.
2. Егоров Э.Н., Чура Н.Н. Повышение эффективности флотатора для очистки балластных вод танкеров // Вопросы обеспечения охраны окружающей среды при эксплуатации судов и рекуперации вторичных ресурсов на предприятиях отрасли. -Д.: Судостроение, 1986. - С. 119-120.
3. Егоров Э.Н., Чура Н.Н. Предотвращение загрязнения моря балластными водами танкеров // Морской транспорт. Сер. Предотвращение загрязнения морской среды: Экспр.-инф. / В/О "Мортехинформреклама". - М.: вып. 2(79). - 1989. - С. 1-5.

4. Чура Н.Н. Анализ количественных и качественных показателей процессов очистки балластных вод: Отчет о НИР (промежут.) / Новороссийское высшее инженерное морское училище. Руководитель Н.Л.Троеглазова. - № ГР 01870062806. - Новороссийск, 1989. - С. 6-22.

5. Скрипник В.И., Чура Н.Н. Использование балластопроводов в качестве первичных отстойников на станциях очистки балластных вод // Защита водного и воздушного бассейнов от загрязнений при постройке и эксплуатации судов. - Л.: Судостроение, 1990. - С. 37-38.

6. Егоров Э.Н., Чура Н.Н. Гравитационно-центробежный способ очистки нефтесодержащих балластных вод танкеров // Защита водного и воздушного бассейнов от загрязнений при постройке и эксплуатации судов. - Л.: Судостроение, 1990. - С. 29-30.

7. Чура Н.Н., Егоров Э.Н. Устройство для гравитационно-центробежной очистки нефтесодержащих балластных вод // Материалы научной конференции МВИМУ. - Мурманск: - 1990. - С. 85-87.

8. Егоров Э.Н., Чура Н.Н. Использование гидроциклона в системе очистки балластных вод танкеров. - Депонирована В/О "Мортехинформреклама" 03.01.92 г. - № 1200 - мф. - 6 с.

9. А.с. № 1741853 СССР, кл. ВОИД I7/00, I7/038. Устройство для очистки нефтесодержащих вод / Егоров Э.Н., Чура Н.Н. - № 4767180/26; заявлено 12.12.89; опубл. 23.06.92. БИ. - 1992 - № 23.

10. Чура Н.Н. К расчету неэмульгирующих режимов работы гидроциклона. - Депонирована ВИНТИ 07.09.92 г. № 2739 - В 92. - 8 с.

Подписано к печати 9.03.94 г. Усл.печ.л. I,26

Тираж 100 Заказ 1394. МАК "ОЛИМП"

Инд. 270029 г. Одесса. ул. Дидрихсона, 13

1852100

AR 23

1600

AB 29.733