

6. Немец А.А. Федоров В. И. Основы радиолокации и телевидения: Уч. пособие. - М.: Высшая школа, 1971. -352 с.
7. Possibility to study space debris by the radar- space-complex in Ewporatoria // J.N.Rjiga, A.I.Zaitsev. institute of Radiotechnic and Electronics of the Russian Ac. Sc., Moscow, page 118-127.
8. Goldstein P.M., Goldstein S.J. //Astronomical Journal, 1995. V.110, page 1392.
9. Мельник Ю.А., Стогов Г.В. Основы радиотехники и радиотехнические устройства. М.: Сов. Радио,1973. -368 с

**Богомья В.И., Кучерук С.М.**

#### **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

*Не смотря на то, что современное состояние развития наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами находится на достаточно высоком уровне, конкретные научно-технические рекомендации по повышению эффективности перспективного НАКУ отсутствуют.*

*Приведенные в данной статье исследования особенностей функционирования перспективных НАКУ с учетом разработанного способа определения геометрических размеров космических объектов определяют возможность практической реализации разработанных научно-технических рекомендаций.*

**Ключевые слова:** космические объекты, наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами.

УДК.629.123

**Маслов В.А.**

#### **ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ БАЛЛАСТНЫХ ВОД ПРИ РАБОТЕ СУДНА НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ**

**Введение.** В настоящее время, в условиях мирового экономического кризиса, на морском флоте стало эффективным использовать суда с небольшим водоизмещением. Причиной этому является их способность заходить в порты с небольшими глубинами, а также проходить по узким рекам в порты, которые могут находиться в глубине материка или на озерах. За счет таких особенностей подобные суда имеют более высокие экономические показатели, особенно если они оборудованы грузовыми кранами.

Работа таких судов сопряжена с проведением балластных операций на малых глубинах. В некоторых портах глубина под килем может быть не более одного метра, а иногда судно может и лежать на грунте. Но во время выгрузки судна необходимо принимать балласт для остойчивости.

Во время приема балластных вод в балластные танки судна неизбежно попадает некоторое количество грунта. Суммарная масса частиц грунта, которые попадают балластные цистерны судна, в некоторых портах может достигать сотен, а иногда и тысячу тонн. За время перехода судна до следующего порта частицы грунта оседают на дно и этот слой уплотняется. Достать грунт из балластных танков довольно проблематично. Традиционно, очистка танков производится путем многократного приема и откачивания балластных вод. Но на такой способ необходимо много времени и энергии, а в связи с тем, что откатка балластных вод во многих закрытых водоемах запрещена, судно нужно будет вывеси в

---

---

открытое море. Если же грунт не вынуть из балластных танков, то это повлияет на грузоподъемность судно, и как следствие, на стоимость фрахта.

В связи с этим, возникает необходимость в новой технологии обработки балластных вод еще на входе в судовую балластную систему, с целью отделить твердые частицы грунта от воды и направлять в танки только чистую воду, а твердые частицы направлять обратно за борт.

В ходе выполненных научно-исследовательских работ была решена проблема оптимизации процесса разделения грунтонесущей пульпы при работе балластного насоса судна на малых глубинах. Основная задача заключалась в получении оптимальной концентрации воды в пульпе путем модернизации технологической линии балластной системы от места всасывания пульпы до места его отправки в балластные танки. Целью подобных работ являлась модернизация судна без проведения дорогостоящих операций по изменению конструкции или его составных узлов.

**Результаты исследований.** Проведенный анализ свойств грунтов, на территории водного бассейна Украины показал, что целесообразно использовать их стандартную классификацию, базирующуюся на гранулометрическом составе, прилипаемости и прочности. Эти технологические параметры напрямую определяются плотностью и консистенцией грунта в условиях его естественного залегания.

При проведении исследований рассматривались два вида грунта - илы и мелкозернистые пески. Они характеризуются малыми значениями объемного веса. Но несмотря на это, при попадании в трюм частицы обоих видов грунта осаждаются и в последствии образуют довольно плотный слой. Одним из способов устранения этого недостатка может быть разработанная в ходе исследований новая технология по отделению воды от грунта. Она базируется на использовании комбинированного способа сепарирования и объединяет в себе наиболее просто реализуемые технические решения, а именно:

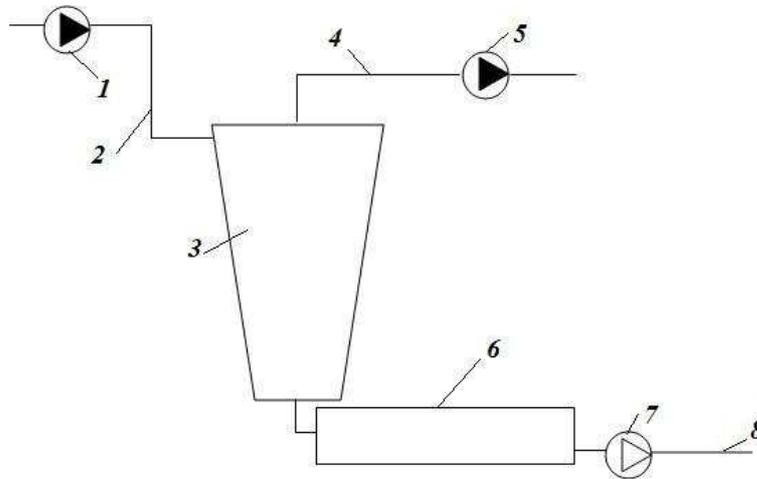
- использование гидромеханических характеристик движущейся смеси грунта с водой для первичного отбора несвязанной с грунтом воды;
- механический отжим пульпы для получения нужного остаточного содержания воды в грунте;
- аэрирование грунта с получением его равномерной консистенции на выходе из сепаратора.

Разработанная технологическая схема сепарации грунтовой пульпы показана на рис. 1. Основная энергия, необходимая для работы сепарационной установки, передается грунтовой пульпе при ее подъеме на борт судна балластным насосом №1 1. По подводящему трубопроводу 2 пульпа поступает в циклонную камеру установки, где за счет вращения потока происходит первичное разделение воды и грунта. В верхней центральной части циклона по трубопроводу отвода сепарированной воды 4 за счет работы балластного насоса №2 5 происходит отбор очищенной воды. Из нижней части циклона грунт с остаточной водой попадает в узел механического отжима 6. Его основными элементами являются вращающийся на малых оборотах винт и жесткие стенки корпуса. За счет регулирования проходного рабочего сечения узла 6 и числа оборотов отжимного винта возможно управлять главными характеристиками установки - ее производительностью и концентрацией остаточной воды в сепарируемом грунте.

В ходе теоретических исследований с использованием известной в теории подобия  $\pi$ -теоремы [1, 3] были сформулированы основные условия моделирования процесса гидродинамического разделения пульпы на составляющие. Главным неизвестным параметром в такой задаче является объемный расход отбираемой воды  $Q$ .

Процесс движения пульпы с закруткой в циклоне определяется набором следующих физических величин: угловой скоростью потока в циклоне  $V$ , плотностью пульпы  $\rho$ , ее вязкостью  $\mu$ , углом конусности циклона  $\alpha$ , высотой циклона  $h$ , выходным диаметром циклона  $d$ . Путем сопоставления размерности указанных величин их комбинация была записана в общем виде

$$Q = f(V, \rho, \mu, \alpha, h, d) \quad (1)$$



**Рис.1. Принципиальная схема установки сепарации пульпы:**

**1 – судовой балластный насос №1; 2 – подводной трубопровод; 3 – циклонная камера; 4 – трубопровод отвода сепарированной воды; 5 – балластный насос №2; 6 – узел механического отжима; 7 – компрессор высокого давления; 8 – пневмолиния**

При рассмотрении функциональной зависимости (1) было установлено, что для моделирования процесса гидродинамической сепарации пульпы необходимо всегда удовлетворять равенства:

- угла раствора циклона рабочей камеры сепарационной установки;
- отношения высоты циклона рабочей камеры сепарационной установки к ее выходному диаметру;
- степенного отношения кинематической вязкости пульпы к скорости ее подачи.

Эти условия моделирования в виде критериев подобия имеют вид

$$\frac{h}{d} = idem \quad \alpha = idem \quad \frac{\sqrt[3]{V^4}}{V^7} = idem \quad (2)$$

При составлении математической модели закрутки потока в циклоне сепарационной установки движение частиц грунта рассматривалось как сумма переносного движения в составе выделенного элементарного объема пульпы и относительного движения внутри этого объема. Относительное движение вызывается проявлением силы тяжести в потоке, а его скорость принималась равной скорости осаждения частицы грунта под действием только одной силы тяжести  $W$ .

В ходе исследований была принята гипотеза о том, что взвешенная частица грунта принимает скорость элементарного объема за время, намного меньшее чем время, за которое она этим объемом переносится. На основании этой гипотезы было определено время релаксации  $t$  - время, при котором частица грунта приобретала скорость переносящего ее жидкого объема.

При рассмотрении падения частицы грунта в неподвижной воде (ось  $z$  направлена вниз) уравнение ее движения (седиментации) имеет вид

$$ma = mg - F_z \quad (3)$$

где  $m$  - масса частицы грунта, кг;  $g$  - ускорение свободного падения,  $m^2/c$ ;  $F_z$  - сила сопротивления, действующая со стороны жидкости на частицу,  $H$ .

Если учитывать падение в жидкости частиц крупного фракционного состава, для которых выполняется закон квадратичного сопротивления

$$F_z = k_2 m a. \quad (4)$$

то скорость падения частицы в соответствии с решением уравнения (3) с использованием граничных условий [5] может рассчитываться как

$$V = W \cdot th \frac{g}{W} t. \quad (5)$$

Из уравнения (5) легко находится время релаксации, в течении которого крупная частица начав двигаться из состояния покоя под действием силы тяжести приобретет скорость  $0,95W$ . Оно имеет вид

$$t = 1,8 \frac{W}{g}. \quad (6)$$

Количество частиц грунта, сепарируемых внутри рабочей камеры циклона, определялось с учетом величины радиального (перпендикулярного к оси вращения пульпы) смещения одиночной твердой частицы при движении по кольцевому каналу. При составлении математической модели было принято допущение о равенстве полной скорости потока пульпы тангенциальной составляющей скорости частиц грунта  $V_r$ . Радиальное смещение частиц грунта со скоростью  $V_r$  встречает продвигодействие от силы сопротивления вращающейся пульпы. Эта сила, согласно формуле Стокса рассчитывается как

$$F_x = 3\pi\mu V_r d, \quad (7)$$

где  $d$  – диаметр частицы грунта, м.

Из-за силы сопротивления частицы грунта начинают двигаться по криволинейной траектории степень кривизны которой определяется массой частицы и вязкостью пульпы. В этом случае частица грунта, выходя на криволинейную траекторию, приобретает центростремительное ускорение, соответствующее силе

$$F_r = \frac{\pi}{6R_q} V_r^2 \rho_{sp} d^3, \quad (8)$$

где  $R_q$  – радиус кривизны траектории движения частицы, м.

Из равенства сил сопротивления и центростремительного ускорения можно найти скорость движения частицы в радиальном направлении

$$V_r = \frac{V_r^2}{18R_q} \rho_{sp} \frac{d^2}{\mu}. \quad (9)$$

Считая, что радиус кривизны траектории частицы  $R_q$  соответствует радиусу окружности, у которой центр совпадает с осью симметрии циклона, можно найти время прохождения частицей грунта пути  $L = \pi R_q$

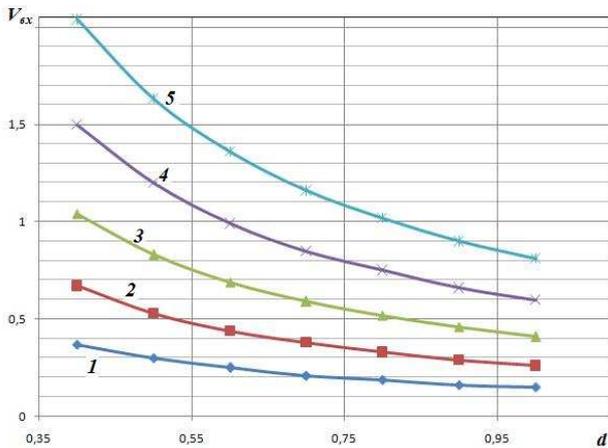
$$T = \frac{L}{V_r}. \quad (10)$$

Значения  $T$  фактически соответствуют времени, при котором частица грунта в циклоне смещается от оси его симметрии к стенкам, а величину радиального смещения частицы грунта за это время можно найти как

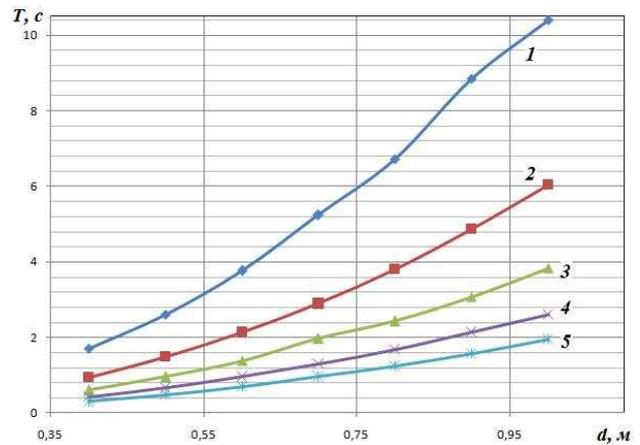
$$\Delta S = V_r T = \frac{V_\tau^2}{18R_q} \rho_{sp} \frac{d^2}{\mu} \frac{\pi R_q}{V_\tau} = \frac{\pi \rho_{sp}}{18\mu} V_\tau d^2. \quad (11)$$

В ходе расчетов для различных значений входной скорости потока в циклон было найдено изменение радиальной скорости движения грунта в различных сечениях циклона. Полученные результаты показаны на рис. 2.

Характер изменения времени, за которое частицы грунта смещаются к стенкам циклона при различных значениях скорости подвода пульпы можно увидеть на рис. 3. Из графиков следует, что рост скорости подвода пульпы в циклон значительно сокращает процесс ее сепарирования. На графиках видно, что рабочие значения скорости подвода должны превышать величину 5 м/с, а оптимальное значение скорости входа пульпы в сепаратор равно 7 м/с. В этом случае максимальное время отделения грунта от воды в наибольшем поперечном сечении рабочей камеры циклона составляет всего 2 секунды.

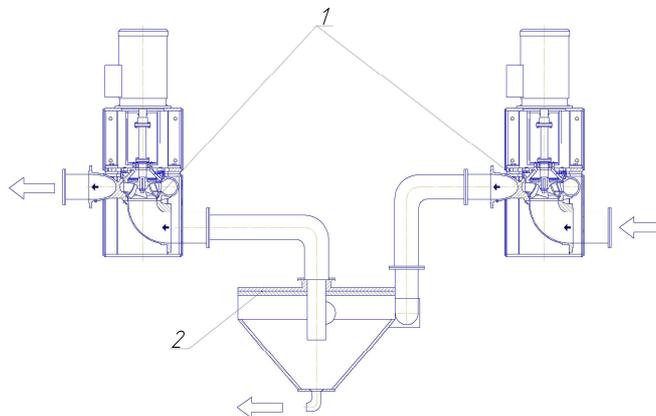


**Рис.2. Изменение радиальной скорости частиц грунта по высоте рабочей камеры циклона: 1— $V_{BX}=3$  м/с; 2— $V_{BX}=4$  м/с; 3— $V_{BX}=5$  м/с; 4— $V_{BX}=6$  м/с; 5— $V_{BX}=7$  м/с.**



**Рис.3. Зависимость времени сепарации грунта от скорости подвода: 1— $V_{BX}=3$  м/с; 2— $V_{BX}=4$  м/с; 3— $V_{BX}=5$  м/с; 4— $V_{BX}=6$  м/с; 5— $V_{BX}=7$  м/с.**

С технологической точки зрения особое внимание нужно уделять месту установки разработанного узла сепарации грунта на судне. Наиболее целесообразно использовать технологическое решение, при котором установка располагается в непосредственной близости с балластными насосами. Возможный вариант показан на рис. 4.



**Рис.4. Технологическая схема работы установки: 1—балластные насосы судна; 2—циклонная установка**

---

---

Как видно из технологической схемы, для работы установки возможно использовать судовые балластные насосы, что в значительной степени удешевит стоимость всей установки.

При эксплуатации разработанного судового сепаратора грунта предполагается полное автоматическое управление и контроль за основными параметрами сепарируемой пульпы и получаемых продуктов разделения - воды и грунта.

**Выводы:**

1. Повышение КПД работы грузового судна можно достигнуть путем модернизации технологии обработки балластных вод. Уменьшение удельной концентрации грунта в воде при приеме балласта при прочих равных условиях приводит к росту самого главного рабочего показателя - производительности судна.

2. Основными параметрами, влияющими на качество предложенного метода сепарации являются входной динамический напор, консистенция грунта в пульпе и вязкость самой пульпы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Башта Т. М., Руднев С. С. и др. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы. Изд-во Машиностроение. М. 1982. 423 с.
2. Бородулин Я.Ф., Сущенко Б.Н. Дноуглубительный флот и дноуглубительные работы. – М. Транспорт. 1973, 432 с.
3. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа. – М.: Наука. – 1973. – 847 с.
4. О.М.Яхно, А.Д.Коваль, Л.И.Пищенко, В.П.Паскалов, Н.Н.Яске. Кавитация в переработке нефти. Київ: Світ, 1999. – 263 с.
5. Гиргидов А.Д. Турбулентная диффузия с конечной скоростью. – СПб.: СПбГТУ, 1996. – 260 с.