

УДК 608, 629.12

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ ПУЛЬПЫ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ЗЕМСНАРЯДА

Маслов В. А. (ОНМУ, г. Одесса, Украина)

Тел./Факс: +38 (067) 4810599; E-mail: [a\\_malahov@yahoo.com](mailto:a_malahov@yahoo.com)

**Аннотация.** В статье описана технология гидродинамической сепарации пульпы в условиях работы судового земснаряда. В ходе исследований была разработана технологическая схема узла сепарации грунта с дальнейшей его транспортировкой.

**Ключевые слова:** земснаряд, сепарация, пульпа, грунт, эпюра скорости, рефулирование.

### 1. Введение

При эксплуатации судовых земснарядов особое значение имеет выбор технологии обработки грунта при проведении дноуглубительных работ. Определяющими вопросами являются используемая конструкция судна, метод выемки и обработки грунта, а также способы транспортирования пульпы к месту ее складирования. Качество их решения оказывает влияние на макроэкономические показатели регионов, где проводятся работы по увеличению фарватера и на рентабельность производства дноуглубительных компаний или судов, участвующих в выемке грунта. Можно констатировать, что практически все суда дноуглубительного флота работают крайне неэффективно в силу того, что транспортируют грунтовую пульпу с повышенным содержанием воды (до 80 %), тогда как оптимальным соотношением состава пульпы является 70 % грунта и 30 % воды.

В настоящее время при проведении дноуглубительных работ используются две отличающиеся между собой категории судов:

- земснаряды, которые осуществляют выемку грунта.
- суда, использующиеся для доставки грунта к месту складирования.

В каждом из этих двух классов судов существуют определенные отличия, связанные с используемой технологической схемой рабочих устройств и механизмов. Анализ их конструктивных особенностей приводит к однозначному выводу - повышение КПД работы земснаряда может быть достигнуто только путем изменения самой технологии разработки и транспортирования пульпы. Уменьшение удельной концентрации воды в пульпе при прочих равных условиях приводит к росту самого главного рабочего показателя - производительности земснаряда.

В практике эксплуатации судов дноуглубительного флота используется две технологические схемы транспортирования добываемого грунта [1]. В первой схеме грунтовая пульпа попадает на берег посредством перекачивания по плавучему и береговому грунтопроводам. Во второй схеме грунт складируется на борту судна, а затем транспортируется на большие расстояния в трюме земснаряда или баржи.

### 2. Основное содержание и результаты работы

Главной задачей выполненных исследовательских работ являлась оптимизация второго варианта транспортирования – с погрузкой добываемого грунта в трюм судна. Был сделан вывод о целесообразности использования комбинированного способа сепарирования воды и грунта. Такой способ должен объединять в себе наиболее просто реализуемые технические решения: использование гидромеханических характеристик движущейся пульпы для первичного отбора несвязанной с грунтом воды; механический отжим пульпы для получения нужного остаточного содержания воды в

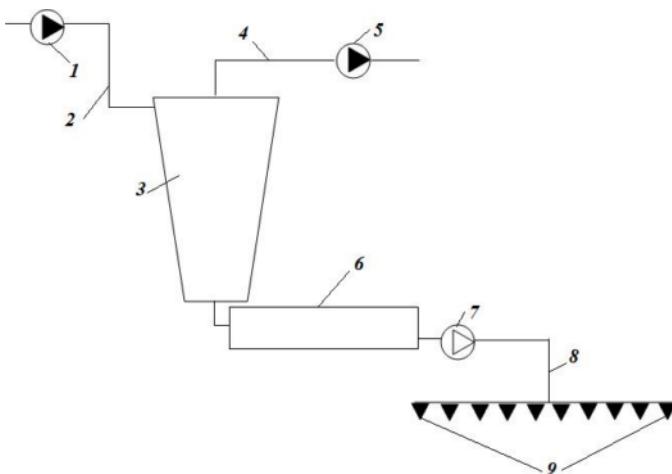


Рис. 1. Принципиальная схема установки сепарации пульпы

1 – грунтовой насос; 2 – подводящий грунтопровод; 3 - циклон; 4 – линия отвода сепарированной воды; 5 – вспомогательный насос; 6 – узел механического отжима; 7 – компрессор; 8 – пневмолиния; 9 – распылительные сопла

узел механического отжима 6, внизу которого установлен поддон с перфорированной решеткой.

При рассмотрении особенностей движения многофазного потока пульпы особое значение необходимо придавать гидравлическому поведению частиц грунта. После загрузки пульпы в трюм всегда наблюдается ее седиментация, а при транспортировании, например илистого или песчаного грунта имеет место его сильное уплотнение из-за чего при вываливании грунта, в разгрузочных отверстиях всегда возникают застойные зоны, приводящие к резкому снижению объемного расхода пульпы.

С гидромеханической точки зрения одной из главных характеристик движения пульпы внутри грунтопровода может являться поле скорости потока. На рис.2 показаны экспериментальные данные по распределению скорости в поперечном сечении цилиндрической трубы для ила, пылевидного песка и глины [1]. Анализ эпюр скорости I-IV указывает на неоднородность плотностного распределения потока в вертикальном сечении грунтопровода. В верхней части трубы преобладает взвесенесущая водная фаза, а в нижней, ниже оси симметрии трубы наблюдается увеличение плотности потока.

Анализ рис.2 позволил сделать вывод о зависимости толщины “вредного” вязко-пластичного слоя от диаметра трубопровода. При правильно выбранном сечении трубы за счет действия динамической нагрузки со стороны легких фракций грунта более крупные частицы будут продолжать свое движение, увлекаясь основным потоком. В этом случае, за счет усиления эффекта конвективного переноса вершина эпюры скорости потока будет смещаться в сторону оси симметрии трубы, а расходные характеристики канала будут достигать максимума. Избыточный диаметр трубопровода приведет к росту градиента плотностной стратификации потока по длине

грунте; аэрирование грунта с получением равномерной консистенции при загрузке в шаланду пневмотранспортом.

В ходе исследований была разработана, показанная на рис.1 технологическая схема узла сепарации грунта. Кинетическая энергия, необходимая для работы установки, передается грунтовой пульпе при ее подъеме на борт судна посредством грунтового насоса 1. По подводящему грунтопроводу 2 пульпа поступает в циклонную камеру, где при вращении потока происходит первичное разделение воды и грунта. В верхней центральной части циклона по линии отвода сепарированной воды 4 за счет работы насоса 5 происходит отбор осветленной пульпы. Из нижней части циклона, грунт с остаточной водой попадает в

трубопровода и к падению его пропускной способности с увеличением энергетических затрат на транспортирование пульпы.

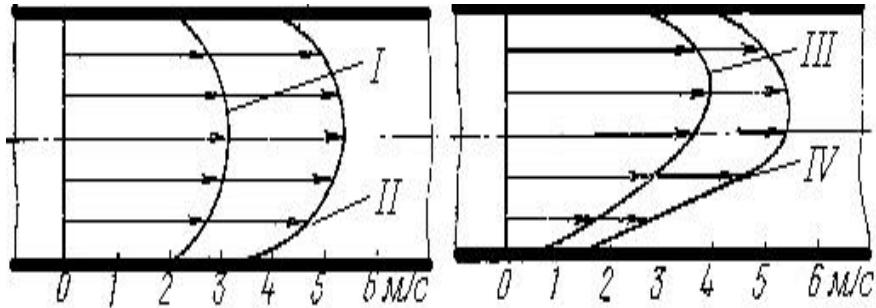


Рис. 2. Эпюры скорости пульпы в грунтопроводе [1]

Основные условия теоретического и физического моделирования процесса гидродинамического разделения пульпы на составляющие были получены с использованием  $\pi$ -теоремы [2, 3, 4]. Главным неизвестным параметром в такой задаче являлся объемный расход отбираемой воды  $Q$ .

Процесс движения пульпы с закруткой в циклоне (см. рис.1) определяется: скоростью основного потока на входе в циклон  $V$ , плотностью пульпы  $\rho$ , ее вязкостью  $\mu$ , углом конусности рабочей камеры циклона  $\alpha$ , высотой рабочей камеры циклона  $h$ , выходным диаметром рабочей камеры циклона  $d$ . Путем сопоставления размерности указанных величин получим их комбинацию в общем виде:

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

В соответствии с  $\pi$ -теоремой число безразмерных комплексов, характеризующих процесс сепарации пульпы определяется как

$$M = i-z = 6-3 = 3 \quad \text{или} \quad \left[ V^{x_1} \rho^{x_2} \mu^{x_3} \alpha^{x_4} h^{x_5} d^{x_6} \right] = Q. \quad (2)$$

Анализ функциональной связи (2) показал, что для моделирования процесса гидродинамической сепарации грунта необходимо чтобы всегда удовлетворялись 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:

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

В ходе выполненных экспериментов была исследована зависимость эффективности процесса сепарации от скорости пульпы на входе в установку. Результаты для двух видов грунта – песка и ила показаны на рис.3. Качественная картина отделения воды от грунта повторялась в обоих случаях - рост скорости потока на входе в циклон приводил к росту эффективности процесса сепарации, а выход на режим автомодельности начинался с чисел Рейнольдса равных  $Re=46000$ . Оценку конечной эффективности отделения грунта от воды можно выполнять по выражению:

$$\tau = \frac{\pi \rho_{sp} V^2}{18 \mu (R_{ex} - R_{вых})} 100\%, \quad (4)$$

где  $R_{ex}$  и  $R_{вых}$  – соответственно радиус верхнего и нижнего сечения конуса камеры циклона, м.

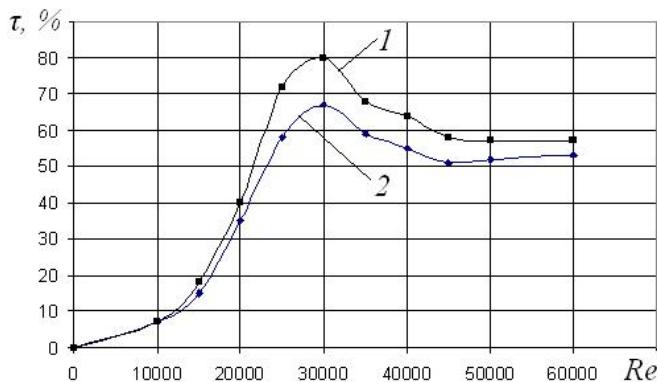


Рис. 3. Влияние скорости потока на эффективность сепарации: 1 – песок; 2 – ил

судового земснаряда.

2. Сепарация грунтонесущего многофазного потока должна осуществляться на стадии транспортировки пульпы по судовому грунтопроводу. В этом случае производительность самоотвозных землесосов или шаланд будет напрямую определяться эффективностью процесса увеличения консистенции грунта в пульпе.

3. Рост скорости потока на входе в сепарационную установку всегда приводит к росту эффективности процесса сепарации, а выход на режим автомодельности соответствует членам Рейнольдса потока, превышающим 46000.

4. Устанавливаемые при ремонте судна узлы сепарации могут выступать единственными техническими устройствами, которые принципиально меняют стоимостные и технологические показатели проводимых земснарядами дноуглубительных работ.

**Список литературы:** 1. Я.Ф. Бородулин, Б.Н. Сущенко. Дноуглубительный флот и дноуглубительные работы. – М. Транспорт. 1973, 432 с. 2. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. М.: Машиностроение, 1982. – 422с. 3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Шлихтинг Г. – М.: Наука, 1974. – 711 с. 4. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Шенк Х. – М.: Мир, 1972. – 381 с.

#### HYDRODYNAMIC PURIFICATION OF PULP IN GROUNDGEAR WORK CONDITION

Maslov V.A. (ONMU, Odessa, Ukraine)

**Abstract:** This article is about technology of hydrodynamic purification of pulp in ship's drager work condition. During investigation there was developed technological scheme for soil purification with its following transportation to ship's bunker.

**Key words:** drager, purification, pulp, diagram velocity, soil refulling.

#### ГІДРОДИНАМІЧНА СЕПАРАЦІЯ ПУЛЬПИ В УМОВАХ ПРАЦІ ЗЕМСНАРЯДУ

Маслов В.О. (ОНМУ, Одеса, Україна)

**Анотація:** У статті описується технологія гідродинамічної сепарації пульпи в умовах праці суднового земснаряду. У ході дослідження була розроблена технологічна схема вузла сепарації ґрунта з дальнішої його транспортуванням.

**Ключові слова:** земснаряду, сепарація, пульпа, ґрунт, епюра швидкості, рефулювання.

Надійшла до редколегії 10.01.2011.