



УДК.629.123

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛН УДАРНОГО ДАВЛЕНИЯ В СУДОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Колегаев М.А., Зуев С.В., Маслов И.З.

Одесская национальная морская академия,

Малахов А.В., Бендеберя Ф.А.

Одесский национальный морской университет,

Маслов В.А.

Херсонская государственная морская академия

В статье описана разработанная технология повышения производительности земснаряда путем применения волн ударного давления в гидравлической системе размыва грунта. Рассмотрены вопросы эксплуатации гибких трубопроводов и конических струйных аппаратов.

Ключевые слова: земснаряд, гидравлический удар, гибкий трубопровод, реактивная сила, технология размыва грунта.

Введение. Качество работы любого судна дноуглубительного флота напрямую определяется его производственными и техническими показателями. Эти показатели зависят не только от степени технической оснащенности судна или уровня подготовки экипажа, но также и от используемых способов дноуглубления или разгрузки на месте складирования. Поскольку производительность земснаряда напрямую зависит от скорости разгрузки на месте складирования, то используемые технологии разгрузки определяют как скорость сброса грунта, так и степень технической сложности реализации этой операции. Спекание грунта, грунтовые пробки внутри рефулерных грунтопроводов или залипание грунта на стенках и углах трюма очень часто требуют от экипажа проведение дополнительных и трудоемких операций. Качество реализации таких операций напрямую определяется техническим оснащением и состоянием судна.

Цель статьи. Цель статьи заключена в описании основных направлений модернизации используемых технологий транспортирования и перегрузки добываемого грунта, которые при своем правильном использовании могут привести к существенному снижению простоев судна при вывалке грунта и самое главное позволят выгружать весь перевезенный грунт без балластных остатков.

Особое внимание при использовании современных технологий рефулирования грунта должно уделяться плавучим или гибким грунтопроводам. В некоторых случаях их использования скорости набегающего потока могут быть очень большими и приводить к опасным вынужденным колебаниям трубы вплоть до разрушения мест ее соединений с другими гибкими судовыми конструкциями.

Вопрос о выборе длины гибкого трубопровода, уходящего в подводную часть является одним из определяющих. Возможны случаи, когда неправильно выбранные и назначенные режимы грунтодобычи будут приводить к авариям из-за возникающих больших колебаний. Предотвращение таких колебаний возможно только в том случае, когда известна зависимость их частотного спектра от силовых или кинематических нагрузок со стороны набегающего потока.

Правильность проектирования гибких трубопроводов хорошо характеризуется статистическим анализом отказов, связанных с нарушением нормальной работы в системе питания двигателей. Около 25% отказов связано с нарушениями герметичности или выходом из строя шлангов в топливной, воздушной или гидравлической системах [1]. Повышение мощности судовых двигателей, напрямую связано с ростом параметров потока в жестких и гибких трубопроводах, а следовательно требует при расчетах на прочность и жесткость учета всех параметров физического взаимодействия потока жидкости со стенками трубопровода. Параметры жидкости, допустимые для



прямолинейного участка могут быть недопустимо критическими в случае криволинейных участков или на локальных поворотах трубы.

Постановка задач исследований. Основная направленность исследований судовой гидравлической системы для добычи, транспортирования и выгрузки грунта должна обеспечивать непрерывную реализацию циклического процесса «импульсный гидравлический размыв – отбор со дна или из трюма – рефулирование или сброс при помощи гидросистем». Особое внимание необходимо также уделять упругим колебаниям гидравлических линий судна при прохождении через них потока грунтовой пульпы.

В качестве силовой энергии для разрушения уплотненного поверхностного слоя грунта может использоваться обычная жидкость. Достоинством предлагаемого подхода является возможность преобразования энергии жидкости в процесс механического разрушения без применения каких либо промежуточных механизмов, фрез, буров и т.п. Также в этом случае достигаются хорошие динамические характеристики процесса грунтодобычи при малых габаритах системы размыва.

Стартовое давление, которое должна развивать система размыва грунта будет всегда соответствовать данным о величине нормативного давления на основания из песчаных грунтов. Эти цифры приведены в табл. 1 и их анализ показывает, что система гидроразмыва может обладать относительно невысоким давлением выходной струи. Таким образом, основная задача исследований заключается в получении теоретических и экспериментальных данных, на основе которых возможно в последующем использовать явление гидравлического удара для создания импульсной системы размыва грунта и повышения технико-экономических показателей процесса добычи грунта судами дноуглубительного флота.

Таблица 1 – Нормативные давления на основания из песчаных грунтов, МПа

<i>Вид грунта</i>	<i>Плотный грунт</i>	<i>Грунт средней плотности</i>
Глинистый грунт	0,25	–
Пески гравелистые и крупные	0,45	0,35
Пески средней крупности	0,35	0,25
Пески мелкие	0,25	0,15
Пески пылеватые	0,25	0,2

В зависимости от условий обтекания трубопровода применительно к гибким трубопроводам возможно сформулировать два принципиальных класса расчетных задач. К первому классу можно отнести задачу о расчете колебаний трубопровода с фиксированной формой поперечного сечения. Ко второму классу – задачу, где действием эффектов от возникающих гидродинамических моментов пренебрегать нельзя. В таких задачах центр давления всегда является смещенным по отношению к центру тяжести сечения трубы и при их решении всегда появляются распределенные гидродинамические моменты, которые изменяют местный угол атаки и распределенные гидродинамические силы.

Результаты исследований. В ходе проведения исследований была разработана технология создания в гидравлической системе земснаряда волн ударного давления, которые в последующем через систему сопловых насадок подаются на слой разрабатываемого грунта. Общая схема системы гидроразмыва показана на рисунке 1.

За счет работы периодически открываемых клапанов в системе могут возникать гидравлические ударные волны, которые по отдельным гидравлическим линиям подаются на поверхность размываемого слоя грунта. Попеременно чередующиеся волны ударного давления, которые на рис. 1 обозначены как «+» и «-» создаются за счет очень быстрого закрытия или открытия клапанов при помощи набора коноидальных сопловых аппаратов. В разработанной системе гидравлического размыва должен возникать прямой гидравлический удар. При передаче силовой энергии для разрушения уплотненного поверхностного слоя грунта использовалась вода. В этом случае энергия волн ударного



давления преобразовывалась в процесс механического разрушения грунта без применения каких либо промежуточных механизмов, фрез, буров и т.п. При таком решении достигаются хорошие динамические характеристики процесса грунтобычи при малых габаритах системы размыва. За счет несжимаемости жидкости возможно обеспечивать практическое полное отсутствие запаздывания ударной волны в случаях изменения настройки гидравлической системы непосредственно в ходе работы судна.

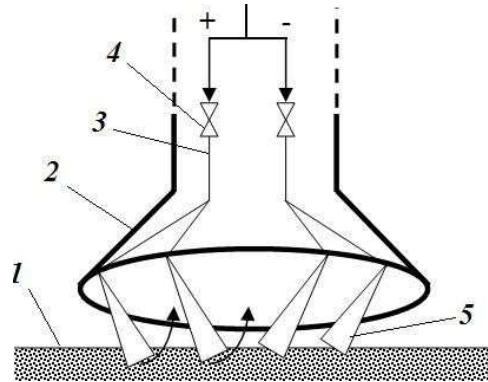


Рисунок 2 – Схема импульсной системы гидроразмыва грунта:

1 – грунт; 2 – грунтозаборник; 3 – линия подачи волн импульсного давления на сопловую насадку; 4 – запорно-регулирующая арматура; 5 – волна импульсного давления

В ходе исследований было установлено, что импульсная система гидроразмыва и особенно диаметр ее сопловых насадок должен определяться производительностью земснаряда. Стартовое ударное давление, развиваемое системой размыва грунта, должно соответствовать данным о величине нормативного давления на грунтовые основания. В ходе экспериментов установлено, что максимальное нормативное давление для песчаных и илистых грунтов лежит в диапазоне 4,5-9 МПа. При исследованиях был определен оптимальный рабочий диапазон углов падения струи на поверхность грунта. Он соответствует углам 5-37°.

Поскольку система гидроразмыва подразумевает эксплуатацию гидравлических линий в режиме повышенного давления необходимо для обеспечения ее герметичности в местах стыков и соединений величину максимального давления принимать на 15 % больше величины ударного давления.

Специфической особенностью эксплуатации всасывающей грунтозаборной трубы земснарядов является переменность состава жидкой пульпы. При пространственно криволинейной форме грунтопровода поток жидкости нагружает его, как статическими (при стационарном потоке жидкости), так и динамическими (при нестационарном потоке) силами. Жидкость, движущаяся с частицами грунта имеет случайную и переменную массу, приходящуюся на единицу длины трубы. Состояние равновесия в таком грунтопроводе при эксплуатации никогда не достигается. Аналогичная проблема характерна для всех как надводных, так и подводных рефулерных грунтопроводов. В этом случае необходимо производить расчеты с учетом присоединенной массы жидкости.

В ходе теоретических исследований была разработана методика расчета системы гидроразмыва. Она основана на гидравлическом расчете сопловых насадок в совокупности с параметрами гидроудара и характеристикой используемой гидравлической сети. Главным в таком расчете является определение площади выпускных сечений при заданном расходе и давлении перед и за сопловыми насадками. В этом случае давление за сопловыми насадками можно принимать в первом приближении равным гидростатическому напору над точкой забора грунта. В случае, если у поверхности дна присутствует сильное течение то в зависимости от его направления необходимо к гидростатическому напору добавлять скоростной напор, рассчитываемый по формулам гидравлики открытых русел.



В первом приближении в зависимости от величины входного и выходного давлений диаметр сопла можно рассчитать с использованием стандартных формул для истечения несжимаемых жидкостей из насадков.

Массовый расход через сопло определяется как

$$Q_m = \varepsilon S_{\text{вых}} \sqrt{2g\rho(P - P_{\text{вых}})}, \quad (1)$$

где $S_{\text{вых}}$ – площадь выходного сечения сопла; ε – коэффициент расхода; P – давление потока на входе в сопло; $P_{\text{вых}}$ – абсолютное давление на выходе из сопла.

Из (1) легко получить необходимую площадь и соответственно диаметр

$$S_{\text{вых}} = \frac{Q_m}{\varepsilon \sqrt{2g\rho(P - P_{\text{вых}})}} = 0,226 \frac{Q_m}{\varepsilon \sqrt{\rho(P - P_{\text{вых}})}}. \quad (2)$$

Для обеспечения качественного размыва грунта при проведении дноуглубительных работ необходимо обеспечить безотрывное движение потока воды внутри сопловой насадки. В этом случае необходимо выдерживать зависимость угла конусности α от соотношения диаметров используемой сопловой насадки $(D_p/D)^2$.

Эти значения приведены в табл. 2, а схема насадки показана на рисунке 2.

Таблица 2 – Углы конусности α , обеспечивающие безотрывное течение воды в сопловой насадке

$(D_p/D)^2$	1,5	2	2,5	3	3,5	4
α	28°	22°	16°	12°	9°	6°

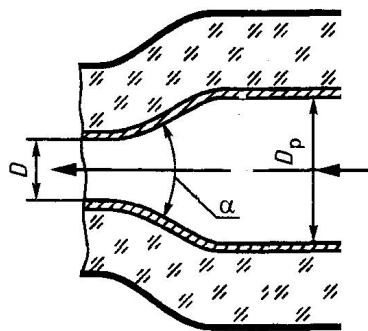


Рисунок 2 – Схема сопловой насадки

При практическом использовании сопловых насадок необходимо учитывать реактивную силу, возникающую при выходе струи. В общем виде она определяется как

$$F = \rho Q(V_2 - V_1) + P_2 S_2 - P_1 S_1, \quad (3)$$

где P_1 – избыточное давление на входе в суживающуюся часть насадка; P_2 – избыточное давление на выходе в суживающуюся часть насадка; V_1 – скорость на входе в насадок; V_2 – скорость на выходе из насадка; Q – расход жидкости на входе в насадок; S_1 и S_2 – площади поперечных сечений насадка на входе и выходе соответственно.

Анализ выражения (3) позволяет сделать вывод, что негативное влияние реактивного усилия, возникающего на сопловой насадке возможно устранять конструктивным способом. Так, если изменить форму насадка с зеркальным отображением то как видно из расчетного примера знак силы изменится на противоположный. В этом случае достигается положительный эффект притяжения системы гидроразмыва к зеркалу грунтовой пульпы. При этом суммарное усилие всей системы сложного трубопровода за счет преобразования динамического напора на обрабатываемый грунт будет только увеличиваться.



Выводы:

1. Механические и пневматические системы размыва грунта по такому технологическому показателю, как скорость изменения ударной нагрузки не могут быть сопоставимыми с гидравлическими системами размыва. Эти системы в отличие от гидравлической системы являются узкоспециализированными и могут эффективно применяться только при разработке определенных классов грунта.

2. Силовое взаимодействие потока со стенками трубопровода может приводить к возникновению нарастающих параметрических колебаний всей системы гидроразмыва.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светлицкий В. А. Механика трубопроводов и шлангов / В. А. Светлицкий. – М. : Машиностроение, 1982. – 280 с.

2. Егоров И. Т. Искусственная кавитация / И. Т. Егоров, Ю. М. Садовников, И. И. Исаев, М. А. Басин. – Ленинград : Судостроение, 1971. – 280 с.

3. ГОСТ 8.586.5-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств.

4. Кондратьева Т. Ф. Предохранительные клапаны / Т. Ф. Кондратьева. – Л. : Машиностроение, 1976. – 232 с.

5. Темный В. П. Гидравлические регуляторы / В. П. Темный. – М.-Л. : Энергия, 1966. – 144 с.

Колєгаєв М.О., Зуєв С.В., Маслов І.З., Малахов О.В., Бендєберя Ф.А., Маслов В.О.
ВИКОРИСТАННЯ ХВИЛЬ УДАРНОГО ТИСКУ В СУДНОВИХ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ

У статті описана розроблена технологія підвищення продуктивності земснаряду за рахунок використання хвиль ударного тиску в гідравлічній системі розмиву ґрунту. Розглянуто питання щодо експлуатації гнучких трубопроводів і конічних струминних апаратів.

Ключові слова: земснаряд, гідравлічний удар, гнучкий трубопровід, реактивна сила, технологія розмиву ґрунту.

Kolegaev M.A., Zuev S.V., Maslov I.Z., Malahov A.V., Bendeberya F.A., Maslov V.A.
USE OF SHOCK PRESSURE WAVES IN SHIP HYDRAULIC SYSTEMS

Technology for increasing dredger productivity by using shock pressure waves in the hydraulic system for soil washout is presented. The issues concerning operation of flexible pipes and jet-cone tubes are considered.

Keywords: dredger, water hammer, flexible pipeline, jet force, technology for soil washout.