**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**Волжский государственный университет водного транспорта  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»**

***На правах рукописи***



**УДК 627.748:621.879.45:621.65-213.32**

**СУХАРЕВ ИЛЬЯ СЕРГЕЕВИЧ**

**ПОВЫШЕ**НИ**Е ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ эффективности грунтонасосных  
УСТАНОВОК ЗЕМСНАРЯДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИЛИСТЫХ ГРУНТОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЭРАТОРА**

**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 Арефьев Н.Н.**

**Нижний Новгород  
2019**

Содержание

[**ВВЕДЕНИЕ 3**](#bookmark2)

[**Глава 1. Аналитический обзор методов повышения энергетической эффективности грунтонасосных установок земснарядов при разработке илистых грунтов 10**](#bookmark4)

1. [**Илистые донные отложения и сапропель. Физико-механические и реологические**](#bookmark5)

**характеристики илистых грунтов естественной влажности 10**

1. [**Анализ энергетической эффективности грунтонасосных установок землесосных**](#bookmark8)

**земснарядов при разработке илистых донных отложений 19**

1. [**Способы снижения вязкости вязкопластичных грунтов 27**](#bookmark11)
2. [**Двухфазные течения жидкость-газ. Водо-воздушные смеси 34**](#bookmark14)
3. [**Анализ проблем двухфазных течений вязкопластичная жидкость-газ.**](#bookmark15)

**Цели и задачи исследования 40**

1. [**Выводы по главе 52**](#bookmark19)

[**Глава 2. Модель процесса аэрации вязкопластичной жидкости.**](#bookmark25)

**Функциональные эксперименты 53**

1. [**Критический радиус пузырька газа в вязкопластичной жидкости 53**](#bookmark28)
2. [**Математическая модель процесса аэрации вязкопластичной жидкости 56**](#bookmark30)
3. [**Исследование влияния сферических частиц на предельное напряжение сдвига**](#bookmark32)

**вязкопластичной жидкости 59**

1. [**Исследование процесса формирования пузырька газа в вязкой жидкости 72**](#bookmark35)
2. [**Выводы по главе 79**](#bookmark37)

[**Глава 3. Аэрация вязкопластичной жидкости при гидротранспорте 80**](#bookmark40)

1. [**Математическая модель и планирование эксперимента 80**](#bookmark41)
2. [**Экспериментальная установка системы аэрации вязкопластичной жидкости 82**](#bookmark43)
3. [**Результаты эксперимента процесса аэрации вязкопластичной жидкости 91**](#bookmark45)
4. [**Выводы по главе 102**](#bookmark47)

[**Глава 4. Инженерная методика расчета снижения удельных энергетических затрат грунтонасосных установок земснарядов с использованием аэратора вязкопластичной жидкости 103**](#bookmark49)

* 1. [**Постановка численного эксперимента использования системы аэрации в**](#bookmark50)

[**грунтонасосных установках 103**](#bookmark71)

* 1. [**Результаты численного эксперимента 107**](#bookmark53)
  2. [**Решение задачи оптимизации параметров системы аэрации в составе грунтонасосных**](#bookmark54)

**установок по гидравлическому уклону 110**

* 1. [**Алгоритм и инженерная методика расчета параметров системы аэрации**](#bookmark56)

[**грунтонасосных установок 112**](#bookmark79)

* 1. [**Экономический эффект внедрения системы аэрации в грунтонасосных установках .118**](#bookmark58)
  2. [**Выводы по главе 124**](#bookmark61)

[**Заключение 125**](#bookmark62)

[**Список литературы 127**](#bookmark64)

[**ПРИЛОЖЕНИЯ 141**](#bookmark66)

Заключение

**Результаты исследований по теме диссертации и могут быть сформулированы следующим образом:**

1. **. Наиболее целесообразным методом повышения энергоэффективности грунтонасосных установок, как элементов СЭУ землесосных земснарядов, при разработке илистых является аэрация. Предложена схема земснаряда с системой аэрации;**
2. **. Разработана методика определения реологических свойств жидкостей и двухфазных смесей в лабораторных и полевых условиях с использованием нестандартных комплектов воспринимающих элементов;**
3. **. Разработана физическая модель процесса аэрации и на основании пи-теоремы определены основные критерии подобия, характерные для исследования газожидкостных смесей вязкопластичная жидкость - воздух. Границы факторного пространства приняты на основании качественных функциональных экспериментов по исследованию влияния сферических частиц на реологические свойства вязкопластичной жидкости и процесса формирования пузырька газа в жидкости;**
4. **. Разработана экспериментальная установка для исследования реологических свойств и потерь напора при гидротранспорте газожидкостной смеси вязкопластичная жидкость- воздух, включающая аэратор вязкопластичной жидкости, защищенный патентом на полезную модель;**
5. **. Экспериментально определены критические параметры перехода структуры течения газожидкостной смеси вязкопластичной жидкости и воздуха от пузырьковой к снарядной и пробковой: переход в пробковую структуру течения наблюдался при концентрации более 28% вне зависимости от условий входа газа и скорости течения исходной жидкости; переход к снарядной структуре в связи каолесценцией пузырьков газа происходит при относительном воздухосодержании 16% и наблюдался при использовании газоподающих трубок различного калибра; мелкодисперсная пузырьковая структура течения сохраняется до относительного объемного газосодержания 12%;**
6. **. Получены уравнения расчета реологических параметров газожидкостной смеси вязкопластичной жидкости и воздуха для формирования пузырьковой структуры течения смеси, обладающей минимальными реологическими характеристиками;**
7. **. Предложен алгоритм и сформулирована методика инженерного расчета с помощью параметров оптимизации процесса аэрации по гидравлическому уклону при гидротранспорте илистых донных отложений по напорным грунтопроводам грунтонасосных установок землесосных земснарядов;**
8. **. Внедрение системы аэрации вязкопластичной жидкости позволило увеличить производительность грунтонасосной установки в составе СЭУ землесосных земснарядов на 20%, дальность транспортирования илистых донных отложений более чем в 2 раза, снизить удельные энергетические затраты на разработку грунтов в среднем на 26 %;**
9. **. Определены основные показатели экономического эффекта при внедрении разработанной автором системы аэрации вязкопластичной жидкости по сравнению с существующими проектами грунтонасосных установок;**
10. **. Разработанная методика расчета и аэратор вязкопластичной жидкости внедрены при проектировании концептуального проекта земснаряда для очистки Таганрогского подходного канала в ООО «Минибот-Техфлот» и учебный процесс ФГБОУ ВО ВГУВТ.**

**Выносимые на защиту основные положения диссертационной работы по повышению эффективности гидротранспорта илистых донных отложений и методики расчета системы аэрации вязкопластичной жидкости позволяют применять**

**технологические и конструктивные решения при создании грунтонасосных установок землесосных земснарядов.**

**Автором дополнительно выполнены опыты по оценке сходимости значений гидравлического уклона при гидротранспорте буровых растворов на основе бентонитовых глин с предельным напряжение сдвига 15..20 Па»с известной методикой расчета потерь напора с помощью модифицированного числа Re и Генки-Ильюшина И. Расчетные значения перепада давлений не превысили экспериментальных данных на величину доверительного интервала, поэтому целесообразно использовать известные модели расчета для вязкопластичных жидкостей путем модификации числа Генки-Ильюшина И или иного критерия подобия вязкопластичных свойств жидкости параметрами процесса формирования газожидкостной смеси.**

**На основании проведенных экспериментов по исследованию формирования пузырьков воздуха в вязкой жидкости, например, воде установлены границы возникновения струйного режима истечения, наступающего при числах Re > 2200 в отверстии истечения газа и относительном перепаде давления п = 0,82..0,93.**

**Сходимость результатов качественных экспериментов с использованием растворов полимеров с процессом аэрации илистых донных отложение показывает потенциальную практическую значимость полученных результатов и целесообразность их внедрения для различных типов бингамовских пластиков: гудроны, мазуты, высокопарафинистые сорта нефти, полимеры и их растворы, расплавы металлов, различные пищевые продукты и биомедицинские жидкости, сточные воды и жидкие отходы различной природы.**