

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента на диссертацию**

**Якубова Голибджона Гафоровича**

**на тему «Совершенствование гидротранспортных систем разработкой и исследованием эжекционных устройств» по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Актуальность темы исследования.** Предметом исследования диссертационной работы являются закономерности рабочих процессов, характеристики и методы расчета насосного агрегата с эжекционным регулированием подачи и эжекционного гидрометателя.

В системах напорного гидротранспорта эжекционные устройства находят широкое применение в качестве гидроэлеватора – устройства создающего гидросмесь с определенным соотношением компонентов и напором достаточным для её транспорта по трубопроводу на заданные расстояния. Применение эжекционных устройств для регулирования подачи агрегата питания взамен дросселя и в качестве гидрометателя для доставки гидросмеси (готового продукта) в отвал по воздуху взамен её транспорта по трубопроводу является оригинальным и многообещающим.

Насосные агрегаты, являясь неотъемлемой частью гидротранспортной системы, работают, как правило, в условиях переменного расхода жидкости. Поэтому агрегаты с нерегулируемыми насосами оснащены в большинстве случаев дроссельным регулированием подачи. Замена последнего на эжекционное регулирование позволит уменьшить потери энергии и увеличить, тем самым, энергетическую эффективность агрегата и всей гидротранспортной установки. Применение эжекционного гидрометателя для доставки продукта в отвал по воздуху освобождает гидротранспортную систему от трубопроводов с гидроэлеваторами на участке от сортировочной установки до отвала, упрощает её эксплуатацию и повышает надежность гидротранспортной системы.

На основании изложенного считаю, что тема диссертационной работы Якубова Г.Г. является актуальной.



**Оценка структуры и содержания работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и списка использованных источников литературы из 178 наименований.

**В введении** автор обосновывает актуальность своего исследования, формулирует научную новизну, теоретическую и практическую значимость проделанной работы, указывает объект, предмет и метод исследования. В введении также приведены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** диссертации описываются состав и технологические особенности работы гидротранспортной системы горно-обогатительных предприятий. Отмечается, что гидромеханизация является прогрессивным способом, поскольку позволяет полностью механизировать и объединить в непрерывный производственный процесс все операции по разработке, транспорту и укладке того или иного твердого материала. Гидротранспортные системы состоят, как правило, из агрегата питания, трубопровода для транспорта пульпы, сортировочной установки и трубопроводов с гидроэлеваторами для укладки готового продукта. В главе приведен подробный обзор и анализ известных методов расчета и профилирования проточных частей эжекторов. Показано, что в контексте энергетической эффективности и надежности перспективным способом регулирования подачи насосных агрегатов является применение эжектора с изменяемой площадью выходного сечения сопла. Выдвинуто предложение об использовании эжектора в качестве гидрометателя. В результате обзора и анализа состояния вопроса формулируются цели и задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена анализу двух способов изменения подачи агрегата питания с нерегулируемыми насосами – при помощи дросселя и эжектора с изменяемой геометрией проточной части.

Исследование выполняется в безразмерных координатах на основе выражений напоров основного насоса и насосного агрегата, уравнений баланса расходов, напорной характеристики эжектора и дросселя. Эффективность работы насосного агрегата оценивается внутренним КПД,



равным отношению полезной мощности агрегата к гидравлической мощности основного насоса.

Численным исследованием математической модели рабочего процесса агрегата питания с эжекционным регулированием подачи автором получена предельно достижимая напорная характеристика агрегата. Сопоставлением характеристик агрегата питания с дроссельным и эжекторным регулированием подачи показано, что агрегат питания с эжекторным регулированием подачи обладает по сравнению с дроссельным управлением более высоким КПД. Вместе с тем, наличие эжектора на входе основного насоса создает условие для его бескавитационной работы.

**В третьей главе** диссертации разрабатываются физико-математические модели течения сред в эжекционном гидрометателе и полёта струи гидросмеси в воздухе.

Исходными уравнениями расчетной модели рабочего процесса гидрометателя являются уравнения баланса расходов, количества движения для контрольного объема, ограниченного смесительной камерой гидрометателя, уравнения Бернулли для активного и пассивного потоков в подводящих соплах и потока гидросмеси в выходном сопловом устройстве. Базовая система уравнений дополняется эмпирическими данными по коэффициентам гидравлического сопротивления элементов проточной части. Совместным решением базовой системы уравнений, исследованием полученного решения на экстремум, соискатель получил экстремальную характеристику гидрометателя, выражающую зависимость максимального коэффициента эжекции от относительных размерах аппарата и относительной плотности эжектируемой гидросмеси. Для оценки эффективности работы гидрометателя используется коэффициент эффективности равный отношению удельных кинетических энергий потока гидросмеси на выходе из аппарата и струи воды на срезе сопла. Численными исследованиями установлено, что коэффициент эжекции, т. е. относительный расход эжектируемой гидросмеси и коэффициент эффективности зависят, главным образом, от относительных площади активного сопла и плотности гидросмеси. Причем каждому



значению относительной плотности отвечает оптимальное значение относительной площади сопла, при котором коэффициент эффективности гидрометателя принимает наибольшее значение. Вместе с тем, показано, что применение сопла на выходе смесительной камеры гидрометателя снижает эффективность его работы.

Одним из основных показателей работы гидрометателя является дальность полета струи гидросмеси в воздухе. Для её определения соискатель на основе дифференциальных уравнений движения отсека струи в воздухе и экспериментальных исследований вывел формулу расчета свободной струи, дополненную графиком зависимости коэффициента торможения струи воздухом от относительного напора на выходе смесительной камеры гидрометателя.

**В четвертой главе** представлены сведения об экспериментальных исследованиях полета струи в воздухе и эжекционного гидрометателя, а также разрабатываются методы расчета гидрометателя и регулируемого эжекционного устройства для агрегата питания.

В главе приведены схема, описание экспериментального стенда и измерительного оборудования, программа и методика проведения испытаний. Представленные в главе протоколы испытаний свидетельствуют о достоверности полученных автором данных. Сопоставление теоретических данных с опытными обнаруживает удовлетворительное качественное и количественное согласие.

Основываясь на результатах исследований соискатель разрабатывает методы расчета регулируемого эжекционного устройства для насосного агрегата и гидроструйного гидрометателя. Методы расчета проиллюстрированы числовыми примерами.

Таким образом, очерченный круг вопросов по широте охвата и глубине изучения соответствует тематике кандидатских диссертаций.

#### **Научная новизна исследований и полученных результатов**

Научная новизна изложенных в диссертации результатов по мнению оппонента состоит в следующем.



1. Предложена математическая модель рабочего процесса насосного агрегата с эжекционным устройством регулирования подачи. Модель позволяет рассчитать характеристики агрегата. Численным исследованием показано увеличение КПД агрегата питания на (10...20) % после замены дроссельного регулирования подачи на эжекционное.

2. Разработаны физико-математические модели рабочего процесса эжекционного гидрометателя и полета струи гидросмеси в воздухе. На их основе выведены уравнение характеристики гидрометателя и формула для нахождения дальности полета струи гидросмеси в атмосфере.

3. Разработаны методики расчета гидрометателя и эжекционного устройства изменения подачи агрегата питания с нерегулируемыми насосами.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов рекомендаций и заключений.**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается достаточно корректным применением общих законов механики жидкости, обоснованных допущений, принятых при создании физико-математических моделей и разработке методов расчета оптимальных эжекционных устройств. Достоверность полученных результатов подтверждается данными экспериментальных исследований, апробацией основных результатов на конференциях и семинарах, в опубликованных работах.

Основные положения диссертации прошли апробацию на трех международных научно-технических конференциях, опубликованы в 4-х печатных работах, из них 3 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

**Значимость результатов, полученных в диссертации для науки и практики.**

1. Предложено применение эжекторов в качестве гидрометателя и устройства регулирования подачи насоса. Такое новое применение эжекторов в гидросистемах горно-обогатительных комбинатов упрощает промышленные установки, повышает их надежность и энергетическую эффективность

2.Ценность полученных автором результатов состоит в развитии теории эжекторов, новые положения которой могут применяться при расчете и проектировании эжекционных гидрометателей, устройств регулирования подачи агрегатов питания, прогнозирования характеристик аппаратов.

3.Разработанные методы расчета эжекционных устройств регулирования подачи насосного агрегата и гидрометателя позволяют находить основные режимные и геометрические параметры аппаратов, рассчитать их характеристики. Методы могут быть рекомендованы к использованию в инженерных расчетах при проектировании струйных аппаратов такого типа.

4.Отдельные разделы диссертации внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» и на предприятии ООО ИК «АМПРИ».

**Соответствие содержания диссертации автореферату и указанной специальности.** Диссертационная работа полностью соответствует указанной специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин», а её содержание достаточно полно отражено в автореферате.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. В пункте 3.3 на стр. 56 не все параметры, входящие в уравнения определены в описании. Кроме того, в формулах используется символ  $\beta$  для обозначения угла, тогда как на рисунке угол обозначен  $\alpha$ . Не ясно идет ли речь об одном и том же угле.

2. Отсутствует статистическая обработка экспериментальных данных.

3. Оформление текста не в полной мере соответствует требованиям ГОСТ.

4. При расчете дальности полета струи диаметр поперечного сечения расчетного отсека принимается постоянным на всем пути, что не соответствует действительности.



## Заключение

В целом указанные замечания не снижают высокого уровня выполненной работы.

Диссертация Якубова Голибджона Гафоровича является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором лично на должном уровне, содержащей новые теоретические и практические результаты, имеющие важное значение в развитии машиностроительной, горнодобывающей и других отраслей страны, полностью соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней».

Работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Официальный оппонент: доктор технических наук Ломакин Владимир Олегович, и.о. заведующего кафедрой Э10 «Гидромеханика, гидромшины и гидропневмоавтоматика», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Докторская диссертация защищена по специальности 05.04.13 – Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты

Адрес места основной работы: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, ст. 1  
Рабочий телефон: +7-499-263-68-53  
Адрес эл. почты: lomakin@bmstu.ru



01.06.2021

*Handwritten signature*