

УДК 622.648.23

**А.С. Воробьев****ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТА  
ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СМЕСЕЙ**

*В общей проблеме перемещения грузопотоков на различные расстояния немаловажное значение приобрел трубопроводный транспорт не только традиционных жидких и газообразных продуктов, но и различных твердых сыпучих или суспензионных материалов. Сфера применения гидротранспорта твердых или суспензионных материалов весьма широка и включает многие области промышленной деятельности, в том числе горнорудную, угольную, химическую, энергетическую и строительную промышленность, где трубопроводным транспортом перемешаются сырье, готовая продукция и отходы производства. Для снижения энергопотребления гидротранспортных систем, обусловленного высокой удельной энергоемкостью процесса, прогрессивным направлением развития является снижение сопротивления движению потока гидросмеси и повышение износостойкости трубопровода. Одним из решений этой проблемы является применение труб с полимерными покрытиями. Для применения таких труб в гидротранспорте хвостов обогащения необходимо разработать методику расчета потерь напора по длине в трубах с внутренним полимерным покрытием, а также методику расчета срока службы таких труб.*

*Ключевые слова: гидротранспорт, энергопотребление, энергоемкость, гидросмеси, сопротивление, износостойкость, полимерное покрытие.*

**Г**идротранспортные установки являются неотъемлемой частью технологических цепочек на горных предприятиях. Они широко используются как при транспортировании гидросмесей полезных ископаемых, так и при удалении отходов при их обогащении.

Для повышения рентабельности и конкурентоспособности горных предприятий необходимо снижать себестоимость производимых ими продуктов.

Анализ затрат произведенный в [1] показал, что доля удельных затрат на электроэнергию при транспортировании гидросмеси достигает 55% от себестоимости, а на преобладающем числе предприятий горной отрасли наибольшей статьёй удельных затрат является электроэнергия.

Из сказанного выше, следует, что снижение энергоемкости процесса транспортирования гидросмесей является насущной и весьма актуальной

проблемой. Существует необходимость решать вопросы оптимизации, как на стадии проектирования новых гидротранспортных установок, так и при модернизации уже действующих.

На основе анализа возможностей оптимизации гидротранспортных комплексов в работе [2] сделан вывод, что оптимизируемая система формируется путем построения ее функциональной модели и представляет собой описание происходящих в ней процессов на основе функционального анализа взаимодействия структурных элементов.

Функциональная модель объекта позволяет выявить наиболее энергоемкие элементы системы и «вредные» функции этих элементов. Проведение экспертного анализа такой модели позволяет получить перечень элементов системы и проблем, оптимизация и решение которых наиболее актуально и необходимо провести в первую очередь.

Главные функции гидротранспортной установки формулируются следующим образом:

1. приготовление пульпы;
2. транспортирование гидросмеси;
3. складирование твердой фазы.

Наибольшее количество энергозатрат приходится на функцию «транспортирования гидросмеси». Поэтому для поиска путей оптимизации ГТС составление функциональной модели, в основе которой лежит данная функция, наиболее актуально.

Реализация главной функции возможна при выполнении совокупности основных функций [3], которые в свою очередь реализуются при выполнении совокупности функций первого уровня. Дальнейшая детализация является излишней, затрудняющей анализ и не приносящей видимой пользы. Перечень основных функций и функций первого уровня приведен в таблице.

На рисунке представлена функциональная модель системы, которая представляет собой древовидную

структуру. Такая структура наилучшим образом отражает иерархию функций.

Для удобства восприятия «вредные» и «полезные» функции расположены по разные стороны «главной» функции для каждой совокупности. Деление на «вредные» и «полезные» функции весьма условно, т.к. эти функции являются неотъемлемой частью совокупности, реализующей «главную» функцию. «Вредность» функции определяется ее негативным воздействием, которое не является необходимым, но без которого невозможно построить систему. В целях оптимизации ГТС необходимо снижать воздействие таких «вредных» функций или исключать их полностью.

Анализ полученной модели показывает, что для снижения энергозатрат на транспортирование гидросмеси необходимо снизить негативное воздействие следующих функций: «создание сопротивлений потока гидросмеси», и «износ трубопровода». Именно на эти функции приходится боль-

#### **Перечень функций гидротранспортной системы**

<b>Обозначение функции</b>	<b>Формулировка функции</b>
<b>Главная функция</b>	
Ф <sub>0</sub>	Транспортирование гидросмеси
<b>Основные функции</b>	
Ф <sub>1</sub>	Создание необходимого напора
Ф <sub>2</sub>	Перекачка пульпы
Ф <sub>3</sub>	Затрачивание энергии на процесс
<b>Вспомогательные функции 1-го уровня</b>	
Ф <sub>11</sub>	Преодоление сопротивлений движению
Ф <sub>12</sub>	Поддержание частиц во взвешенном состоянии
Ф <sub>13</sub>	Износ оборудования
Ф <sub>21</sub>	Пространственное перемещение гидросмеси
Ф <sub>22</sub>	Поддержание заданного уровня концентрации твердого
Ф <sub>23</sub>	Постоянство линии тока во времени
Ф <sub>24</sub>	Создание сопротивлений движению потока гидросмеси
Ф <sub>25</sub>	Износ трубопровода
Ф <sub>26</sub>	Создание температурных колебаний потока гидросмеси



### Функциональная модель гидротранспортной системы

шинство энергозатрат при перекачке пульпы. За реализацию этих функций отвечает трубопровод(магистраль) гидротранспортной установки.

Надо заметить, что при реализации функции «преодоление сопротивлений движению» гидротранспортной системой затрачивается большое количество энергии, но также необходимо заметить, что энергопотребление этой функции напрямую зависит от величины воздействия вредной функции «создание сопротивлений потока гидросмеси». Поэтому уменьшив гидравлические сопротивления трубопровода (магистрали), тем самым снизится величина энергозатрат на их преодоление.

На натурной модели это выглядит следующим образом: при уменьшение сопротивление трубопровода появляется возможность поставить насос с меньшей мощностью, соответственно стоимость и энергопотребление такого насоса ниже.

Таким образом, снижение сопротивления движению потока гидросмеси и повышение износостойкости

трубопровода является первоочередной задачей. Одним из решений этой проблемы является применение труб с полимерными покрытиями. Общеизвестно, что полимерные покрытия имеют низкие коэффициенты шероховатости поверхности и более высокую износостойкость. Зарубежный опыт применения труб с такими покрытиями показывает, что долговечность использования возрастает в 3–5 раз.

Для применения таких труб в гидротранспорте необходимо разработать методики расчета потерь напора по длине и расчета долговечности таких трубопроводов. Трубы с полимерным внутренним покрытием имеют другой механизм износа, что делает невозможным применения к ним методик для расчета стальных труб.

Подводя черту под сказанным выше, можно сделать следующие выводы:

Большая доля энергозатрат в себестоимости гидротранспорта требует поиска новых решений оптимизации ГТС.

Анализ функциональной модели ГТС позволил выявить элементы, на которые приходится наибольшее число затрат,

обосновав тем самым наиболее актуальные пути снижения энергоемкости транспортирования хвостовой пульпы.

Таким образом, первоочередной задачей является снижение сопротивления движению потока гидросмеси и повышение износостойкости трубопровода.

Возможным решением этой задачи может стать применение труб футерованных полимерными материалами. Опыт применения таких труб за рубежом при строительстве канализационных сооружений показал, что они

намного долговечнее стальных труб и имеют значительно более низкие коэффициенты сопротивления движению потока. Для применения таких труб в гидротранспорте хвостов обогашения необходимо разработать методику расчета потерь напора по длине в трубах с внутренним полимерным покрытием, а также методику расчета срока службы таких труб. Существующие в данный момент методики для стальных труб не подходят, т.к. полимерные материалы имеют другой механизм износа.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.И. Методы снижения энергозатрат при гидравлическом транспортировании смесей высокой концентрации. – СПб.: СПГИ(ТУ), 2000. – 117 с.

2. Докукин В.П. Повышение эффективности систем трубопроводного гидро-

транспорта. – СПб.: СПГИ(ТУ), 2005. – 105 с.

3. Тарасов Ю.Д., Докукин В.П., Николаев А.К. Напорные гидротранспортные установки в горной промышленности: Учеб. пособие. – СПб.: СПГИ(ТУ), 2008. – 104 с. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Воробьев А.С. – аспирант, e-mail: lesa.vorobiew@yandex.ru, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

---

UDC 622.648.23

## IMPROVING EFFICIENCY HYDROTRANSPORT POLYDISPERSE MIXTURES

Vorobev A.S., Graduate Student, e-mail: lesa.vorobiew@yandex.ru, National Mineral Resource University «University of Mines».

*In the general problem of moving freight flows at various distances acquired considerable importance pipeline transportation. Not only traditional liquid and gaseous different products, but also a variety of solid bulk materials or suspension. Scope hydrotransport solid or slurry materials is extensive and includes many areas of industry, including mining, coal, chemical, power and construction industries where pipelines move raw materials, finished products and production wastes. To reduce the energy consumption of hydro systems, high specific energy capacity due process and progressive line of development is reduction of resistance to movement of the slurry flow and increase the wear resistance of the pipeline. One solution to this problem is the use of pipes in polymeric coatings. For the application of such pipes in hydrotransport-enriched tails tion is necessary to develop a methodology for calculating head loss along the length of the pipes with an inner polymer coating and the methodology for calculating the lifetime of such tubes.*

*Key words: hydrotransport, energy consumption, energy intensity, slurry resistance, wear resistance, the polymer coating.*

## REFERENCES

1. Aleksandrov V.I. *Metody snizheniya energozatrat pri gidravlicheskom transportirovanii smesei vysokoi kontsentratsii* (Methods to reduce energy consumption during hydraulic transport of mixtures of high concentration), Saint-Petersburg, SPGGI(TU), 2000, 117 p.

2. Dokukin V.P. *Povyshenie effektivnosti sistem truboprovodnogo gidrotransporta* (Improving the efficiency of pipeline hydraulic transportation), Saint-Petersburg, SPGGI(TU), 2005, 105 p.

3. Tarasov Yu.D., Dokukin V.P., Nikolaev A.K. *Napornye gidrotransportnye ustanovki v gornoj promyshlennosti: Ucheb. posobie* (The pressure of hydro installations in the mining industry: Proc. Manual), Saint-Petersburg, SPGGI(TU), 2008, 104 p.