

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новожилов М.Г., Пригунов А.С., Бро С.М. Проблемы внедрения поточной технологии на карьерах //Горн. журнал. - 1998.-№1- С.18-20.
2. Барон Л.И. , Логунов Б.М, Позин Е.З. Определение свойств горных пород. - М: Госгортехиздат, С.1962.-332.
3. Олевский В.А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок. - М.: Гостехиздат , С.1958.- 159.

УДК 621.695.204.1

В.П. Франчук, Е.А. Кириченко А.П. Зиборов

СИНТЕЗ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНЫХ ГИДРОПОДЪЕМОВ

Запропоновано нову стратегію проектування потужних гідропідйомів, яка базується на раціональному поєднанні теоретичного та експериментального методів дослідження, яка на погляд авторів є найбільш ефективним шляхом одержання цінних для практики результатів.

Известно большое количество методик расчета эрлифтов, обусловленных их применением в различных областях народного хозяйства. Большинство прикладных методик носят эмпирический характер и применимы лишь для условий, соответствующих условиям проведения эксперимента. Так, наиболее приемлемым методом расчета эрлифтных установок горной промышленности является метод безразмерных расходных характеристик [1], базирующийся на использовании экспериментально полученных на лабораторных установках зависимостей для расчета натуральных эрлифтов. Такой подход дает возможность оперативно и с достаточной степенью точности выполнить инженерный расчет шахтных гидроподъемов, характеризующихся относительно короткими подводящей и подъемной трубами и диапазоном изменения относительного погружения смесителя от 0,15 до 0,5.

трубами и диапазоном изменения относительного погружения смесителя от 0,15 до 0,5.

В работе [2] предпринята попытка применения метода безразмерных расходных характеристик для расчета параметров глубоководных эрлифтных гидроподъемов (ГЭГ), используя в качестве основной характеристики рабочего режима величину относительного динамического погружения, что в большей степени определяет режим работы эрлифтов, оснащенных длинной подводящей трубой.

Дальнейшее развитие метод безразмерных расходных характеристик в применении к расчету параметров ГЭГ получил в работах [3–5]. Выполнены экспериментальные исследования эрлифтов в лабораторных, шахтных и морских условиях при глубинах до 90 м в диапазоне относительных динамических погружений от 0,5 до 1. Получены аналитические зависимости для определения средних по высоте подъемной трубы значений газосодержания, удельного расхода воздуха и плотности гидросмеси.

Несмотря на научную значимость проведенных экспериментов, этим методам в одинаковой степени присущ серьезный недостаток, заключающийся в использовании новых эмпирических данных в рамках старого теоретического подхода. Дело в том, что работа ГЭГ связана с появлением принципиально новых явлений в подъемной трубе, таких как значительная степень расширения воздуха, наличие одновременно нескольких структур течения гидросмеси, нелинейность распределения давления и др., смоделировать которые на коротких лабораторных установках практически невозможно.

В целом, проведение экспериментальных исследований эрлифтного подъема целесообразно на установке, которая удовлетворяла бы условиям полного подобия с натурной эрлифтной установкой. В этом случае явления, происходящие в экспериментальной и натурной установках имеют одинаковое математическое описание. При этом, требуемые параметры натурального эрлифтного подъема можно получить по результатам испытаний на экспериментальной установке, используя соответствующую систему масштабов. Критерии подобия получаются при переходе от

размерной формы записи уравнений к безразмерной. В частности анализ критериев, полученных при преобразовании исходной системы уравнений к безразмерному виду [6], показывает, что для корректного физического моделирования ГЭГ необходимо соблюдение следующих условий: высокое гидростатическое давление, большая степень расширения воздуха, изменение в широком диапазоне скоростей и концентраций фаз в потоке и др. Такие условия по предварительным оценкам [6] могут быть созданы при глубинах подъема 2000 – 2400 м.

Невозможность осуществления на сегодняшний день натурального крупномасштабного эксперимента стимулирует попытки получить расходные характеристики ГЭГ теоретическим путем, посредством математического моделирования эрлифтных процессов. Однако многообразие явлений, происходящих в подъемной трубе ГЭГ, не позволяет разработать адекватную математическую модель. Учет многочисленных факторов приводит к чрезмерному усложнению исходных уравнений и, как следствие, ограничивает область существования корректного решения. Получение конечных результатов в широком диапазоне изменения параметров становится возможным благодаря принятию ряда допущений, не всегда обоснованных, что снижает достоверность расчетных данных.

Известные теоретические методы расчета ГЭГ можно условно разбить на два направления. К первой группе относятся методы Уэки Сиро, Г. Грабова и М. Вебера, базирующиеся на гомогенной модели и балансе подведенной и затратной мощностей. В основу их положены сильно упрощающие предположения, при этом задача сводится к решению алгебраических уравнений.

Ко второй группе можно отнести методы Хазитедороу, Полярского и модифицированный метод М. Вебера. Они основываются на использовании отдельной модели течения и закона сохранения количества движения каждой фазы и сводятся к системе дифференциальных уравнений, для решения которых используются численные методы с реализацией на ПЭВМ. Перечисленные методы описаны в работе [6]. Там же приведены экспериментальные данные

М. Вебера по применению эрлифтов при бурении скважин глубиной 441 м на карьере «Рейнского буроугольного акционерного общества» в г. Кельне.

Таким образом, приведенные результаты, в силу их расходимости могут рассматриваться как предварительные, и нет оснований утверждать, что имеется надежная математическая модель ГЭГ, а расчеты проектных параметров промышленных гидроподъемов обеспечивают требуемое качество разработок. Дальнейшие уточнения расчетных методов должны выполняться после экспериментальных исследований на лабораторных и натуральных крупномасштабных установках. Поэтому, актуальной является задача по разработке усовершенствованного метода расчета ГЭГ, позволяющего осуществить проектирование установок с учетом влияния основных факторов, характеризующих специфику глубоководной добычи твердых полезных ископаемых (ТПИ), и прошедшего экспериментальную проверку.

Авторы статьи считают, что создание глубоководных гидроподъемов для новой области применения эрлифтов связано в первую очередь с разработкой новой стратегии проектирования установок. При этом важно определить, насколько могут быть использованы современные знания для освоения ресурсов Мирового океана, учитывая пионерский характер проводимых разработок и ограниченность информации по объему и точности исходных данных.

Обратимся к истории развития теории двухфазных течений, вызванных повышением уровня техники применительно к нефтяной и газовой промышленности. Начальный период исследований в этой области характеризуется использованием преимущественно эмпирических методов описания изучаемых процессов с целью установления зависимости перепада давления от расходных параметров течения и диаметра транспортного трубопровода.

В 40-х годах этого столетия начинается поиск методов обобщения накопившихся экспериментальных данных, появляется классификация структур течения смеси в вертикальных трубах и делаются первые шаги в разработке теоретических основ газо-жидкостных течений.

Период с 50-х годов характеризуется наращиванием экспериментальной базы, поиском новых и углублением существующих методов теоретических исследований вызванных развитием техники. Рядом ученых были сформулированы уравнения неразрывности и движения многокомпонентных смесей, а также уравнение баланса турбулентной энергии, которое формально замыкает систему основных уравнений гидродинамики. Для технических приложений приобрели важное значение результаты, полученные при непосредственном интегрировании уравнений движения смеси в одномерном приближении.

В свою очередь развитие теории двухфазных течений повлияло на совершенствование методов постановки и обобщения экспериментальных исследований. Весьма эффективным оказался критериальный метод обработки экспериментальных данных, вытекающий из основных уравнений гидродинамики смесей и позволивший эффективно решить ряд прикладных задач, что в конечном итоге привело к созданию инженерных методов расчета трубопроводного транспорта нефти и газового конденсата.

Таким образом именно рациональное сочетание экспериментального и теоретического метода исследований явилось в данной области наиболее эффективным путем получения ценных для практики результатов. Этой же концепции придерживаются и авторы статьи при проектировании ГЭГ, предназначенных для подъема полезных ископаемых с больших глубин Мирового океана. Предварительно был выполнен анализ значимости параметров, определяющих к.п.д. гидроподъемов с заданными геометрическими размерами и производительностью по твердому для базового варианта опытной установки. В результате обработки результатов численных экспериментов, полученных с использованием метода Уэки Сиро, установлена обобщенная функциональная зависимость для определения к.п.д. установок:

$$\eta = \eta(d_t, \lambda_1, \lambda_2, C_x, E)$$

где: d_t – диаметр твердых частиц, м; λ_1, λ_2 – коэффициенты подводящей и подъемной труб соответственно; C_x – коэффициент лобового сопротивления твердых частиц.

Выяснилось, что наибольшее влияние на энергоемкость установок оказывают влияние коэффициенты λ_1 , λ_2 , C_x .

С учетом этого факта была разработана программа экспериментальных исследований на лабораторной эрлифтной установке комплексного стенда института НИПИОкеанмаш, предназначенного для отработки глубоководных гидротранспортных систем. В качестве имитатора ТПИ использовались круглые стеклянные шарики размерами 3, 5, 10 и 15 мм, поскольку для них известны гидродинамические характеристики, что упрощает проверку расчетных результатов. При этом мерная стеклянная труба имела внутренний диаметр 56 мм, длина мерного участка составила 1,5 м. В качестве рабочей жидкости использовалась водопроводная вода с содержанием морской соли 5%. Лабораторная установка оснащена всеми необходимыми средствами измерения и обработки информации, обеспечивающих приемлемую погрешность экспериментов.

В ходе проведения опытов удалось обеспечить на мерном участке заданный режим течения двух и трехфазной смеси, а также выполнить необходимые замеры для определения потерь давления на сопротивление. В результате, из числа известных были выбраны зависимости для определения потерь давления на трение соответственно для подъемной и подводящей труб, дающие наибольшие совпадения с данными замеров и одновременно обладающие достаточной общностью и автомодельные по диаметру трубы.

Следует отметить, что в ходе испытаний не ставилась задача получения новых аналитических зависимостей для расчета величины потерь давления на сопротивление путем статистической обработки экспериментальных данных [3]. Полученные таким образом формулы, как бы «впитывают» информацию об особенностях проведения лабораторных испытаний, а экстраполяция расчетных зависимостей за пределы условий эксперимента ставит под сомнение достоверность результатов.

Одновременно были сформулированы требования, предъявленные к вновь создаваемой модели ФЭГ:

- строгое математическое описание исследуемых процессов и принятие обоснованных допущений;

Этим требованиям удовлетворила предложенная полуэмпирическая модель [6], базирующаяся на фундаментальных законах механики жидкости и газа, а также на обобщенных эмпирических зависимостях для определения коэффициентов λ_1 , λ_2 , представленных в критериальном виде и подтвержденных в ходе экспериментов на комплексном стенде института НИПИОкеанмаш.

Ввиду необходимости экспериментальной проверки адекватности разработанной полуэмпирической модели были внесены соответствующие изменения в конструкцию испытательного стенда и программу экспериментов.

Цель дальнейших экспериментальных исследований заключалась в снятии расходной характеристики лабораторной установки, выражающей зависимость массовой производительности эрлифта по твердому как функции от массового расхода газа. В результате снятия этой характеристики и выполнения сравнительных расчетов была установлена область адекватности полуэмпирической модели ГЭГ. Под областью адекватности понимается часть расчетной расходной характеристики глубоководной установки, для которой выполняется качественное совпадение закономерностей изменения параметров в результате сравнения расчетных и экспериментальных данных.

С учетом вышеизложенного авторы считают, что разработанная полуэмпирическая модель ГЭГ [6] в установленной области адекватности может быть использована для инструментального (с помощью ПЭВМ) исследования параметров натурной опытной эрлифтной установки и методической подготовки планируемых на ней экспериментальных исследований. При этом модель гарантирует получение результатов с одинаковой погрешностью, что вполне отвечает задачам проектных исследований в оптимизационной постановке, направленных на уменьшение энергоемкости глубоководных гидроподъемов. В то же время, повышение точности модели напрямую связано с повышением степени ее универсальности (учета большего числа факторов определяющих физику процессов ГЭГ).

универсальности (учета большего числа факторов определяющих физику процессов ГЭГ).

Предложенный способ экспериментального подтверждения метода расчета параметров глубоководных эрлифтов с использованием лабораторных и стендовых экспериментов, является также эффективным при обобщении результатов экспериментальных исследований, выполненных на опытной установке, на промышленные гидроподъемы производительностью до 1 – 1,5 млн. т в год по «сухому» сырью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейер В.Г., Логвинов Н.Г. О свойствах безразмерных характеристик эрлифтов. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техніка, 1973, №31, с. 51 – 56.

2. Раздольный В.А. Об особенностях применения эрлифта для добычи полезных ископаемых со дна водоема // Труды ВНИИ Нефуда. – Тольятти, 1972. – Вып. 33. – с. 28 – 34.

3. Адамов Б.И. Исследование и разработка глубоководных эрлифтных установок для подъема твердого материала: Дисс... канд. техн. наук. – Донецк, 1982. – 192 с.

4. Скорынин Н.И. Исследование и разработка глубоководных многосмесительных эрлифтных установок для подъема горных масс: Дисс... канд. техн. наук. – Донецк, 1984. – 205 с.

5. Игнатов А.В. Разработка эрлифтных и насосно эрлифтных подъемов гидросмеси с больших глубин: Дисс... канд. техн. наук. – Донецк, 1988. – 243 с.

6. Кириченко Е.А. Выбор и обоснование рациональных параметров глубоководной эрлифтной установки с учетом влияния питающей пневмосистемы: Дисс... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1989. – 172 с.