

УДК 622.276.52

**А.В. Игнатов** (канд. техн. наук, доц.),**Т.Ю. Варавкина** (ассистент)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

## **О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭРЛИФТНОГО ГИДРОПОДЪЕМА**

*На основании сравнения проведенных ранее в ДПИ экспериментальных исследований эрлифтных установок и характеристики насоса 1ЭЦВ8-40-90 установлено, что при значениях относительного погружения смесителя эрлифта более 0,6 его коэффициент полезного действия не меньше коэффициента полезного действия погружного насоса. Установлено, что эрлифты могут быть рассмотрены как мехатронные гидротранспортные системы с переменными диссипативными структурами потока жидкости и пульпы. Предложено использовать встречное закручивание потока в подъемной трубе - для изменения его структуры и, как следствие, увеличения КПД подъемной трубы эрлифта, во всасывающем устройстве - для снижения давления в центральной его части, что повысит эффективность процесса всасывания.*

**Ключевые слова:** коэффициент полезного действия, эрлифт, подъемная труба, мехатронный гидротранспорт, диссипативная структура.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Топливо-энергетический комплекс Украины, главным ресурсом которой является уголь, производит 11% стоимости промышленной продукции страны.

Добыча угля постоянно растет, что приводит к увеличению глубины и мощности шахт и, в свою очередь, к увеличению притока воды в них. Одним из простейших средств откачки воды и пульпы из водоотливных емкостей является эрлифт.

Кроме того, увеличение глубины и мощности шахт приводит к увеличению потребления воздуха, что, в свою очередь, обуславливает необходимость проведения новых вентиляционных стволов и скважин. Одним из наиболее эффективных способов проведения вентиляционных стволов и скважин является бурение. При этом процесс подготовки ствола или скважины к сбойке с шахтой предусматривает откачку из них бурового раствора или воды. Применение эрлифта позволяет эффективно и в достаточно короткие сроки выполнить осушение стволов. Необходимо также отметить широкое применение

буровых установок с использованием эрлифта как средства гидро-транспорта в Китайской народной республике.

Одним из основных параметров эрлифта является коэффициент относительного погружения его смесителя:

$$\alpha = \frac{h}{H + h}, \quad (1)$$

где  $h$  – геометрическое погружение смесителя, м;

$H$  – высота подъема жидкости над уровнем жидкости в стволе, м.

При больших относительных погружениях смесителя эрлифта (более 0,6) его коэффициент полезного действия не меньше коэффициента полезного действия погружного насоса (см. рис. 1).

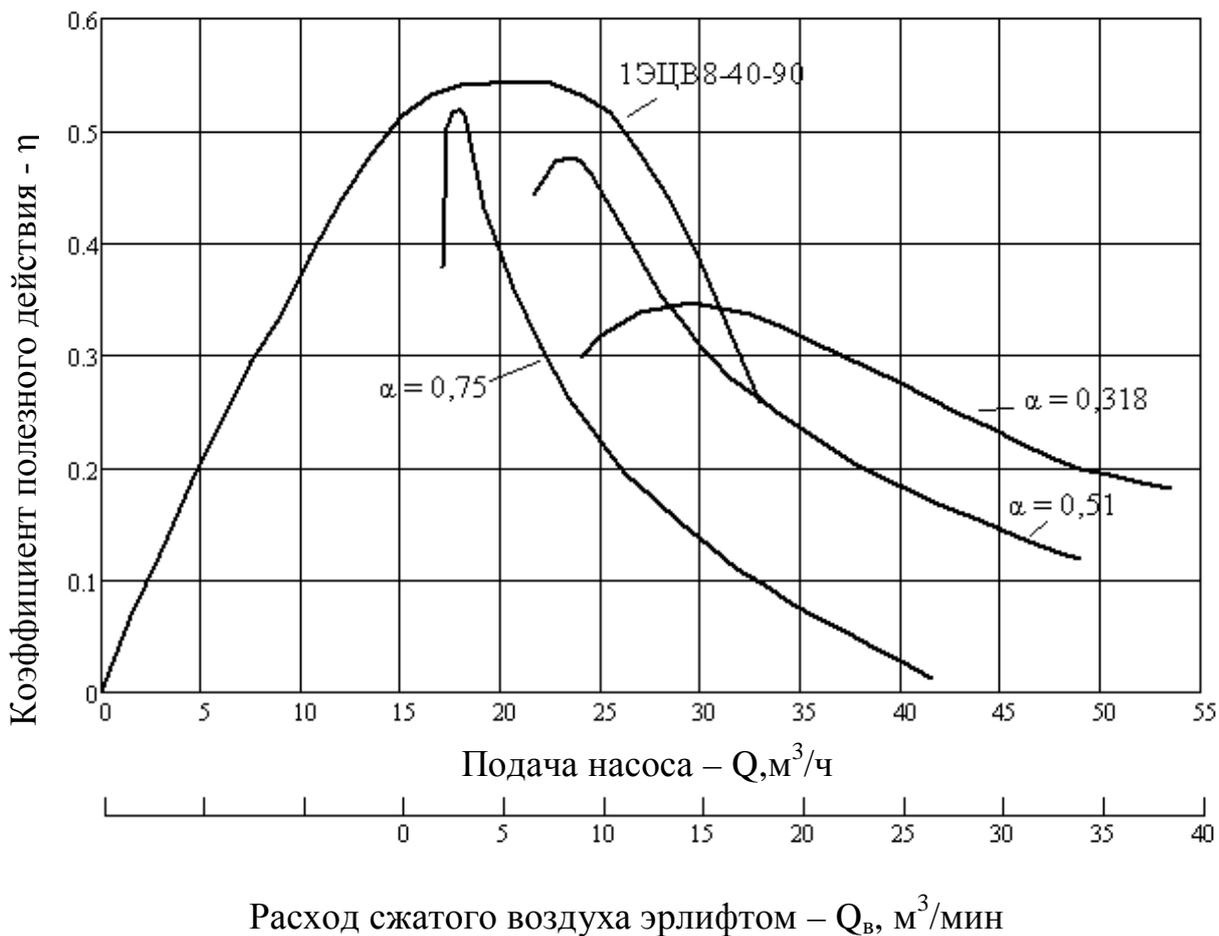


Рис.1. Сравнительный анализ КПД центробежного насоса и эрлифта

Однако, использование эрлифтного гидроподъема при малых значениях относительного погружения смесителя эрлифта приводит к увеличению затрат энергии по сравнению с насосными установками. Вместе с тем эрлифтные установки имеют простую конструкцию, в них отсутствуют подвижные части, они не требуют больших трудо-

затрат при обслуживании и значительно надежнее насосов при эксплуатации. Для увеличения КПД применяют ступенчатые (многосекционные) эрлифтные установки.

При значениях  $\alpha$  больших приведенных на рис. 2, применение многосекционных эрлифтных установок с точки зрения экономии энергии нецелесообразно.

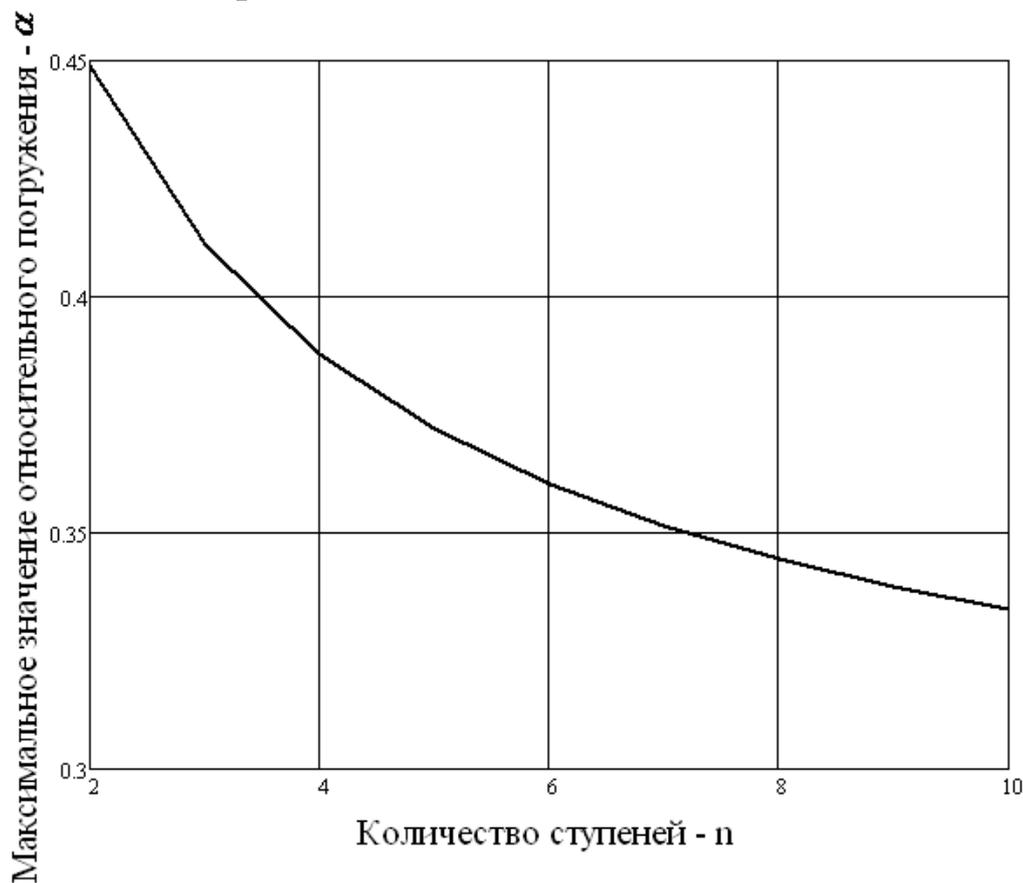


Рис.2. Изменение максимального относительного погружения смесителя эрлифта при увеличении количества ступеней

Кроме того известно, что применение многосекционных эрлифтных установок при переменном расходе сжатого воздуха требует для обеспечения устойчивой работы установки применения системы автоматического или дистанционного управления. В этом случае питание сжатым воздухом отдельных ступеней осуществляется от общего коллектора компрессорной станции. Эксплуатировать такие установки сложно из-за динамической неустойчивости всей механической системы в целом. [2]

Целесообразность применения такой системы автоматического управления при постоянном расходе сжатого воздуха является предметом дальнейших исследований.

В настоящее время практически отсутствуют исследования статических и динамических режимов работы эрлифта с применением стохастических методов.

**Постановка задачи.** На основании поставленной проблемы и анализа публикаций ставится задача увеличения эффективности применения эрлифтных установок.

**Изложение материала и результаты.**

Эрлифтные установки, а особенно – ступенчатые эрлифтные установки их динамическая и статическая устойчивость и КПД зависят от параметров эрлифтной установки и структуры потока в подъемной трубе [2, 3].

Задачи управления устойчивостью режимов эрлифта и структурой потока являются вопросами мехатроники. Структура потока в подъемной трубе эрлифта формируется в результате многовариантного и неоднозначного поведения многоэлементных структур и сред, которые не деградируют к стандартному, для замкнутых систем, усреднению термодинамического типа, а развиваются вследствие открытости, притока энергии извне, нелинейности внутренних процессов, появления особых режимов с обострением и наличия более одного устойчивого состояния. В таких системах могут образовываться новые структуры и системы, в том числе и более сложные, чем исходные. В отдельных случаях (в частности системы с отрицательным трением) образование новых структур имеет регулярный (волновой) характер и их называют автоволновые процессы (по аналогии с автоколебаниями в подъемной трубе эрлифта [2]) [6 - 9].

Таким образом, эрлифты являются мехатронными гидротранспортными установками и поэтому при разработке их теории должны быть применены методы теории диссипативных структур. В настоящее время эрлифты могут быть рассмотрены как мехатронные гидротранспортные системы с переменными диссипативными структурами потока жидкости и пульпы.

На статическую и динамическую устойчивость режимов работы МГП можно влиять путем управления структурообразованием потока, а не только чистым управлением режимами, как отмечается в [2, 3].

С этой целью неустойчивость режимов потока должна быть смоделирована с применением стохастических методов.

Уместно отметить следующую аналогию: всем известно хаотичное Броуновское движение одиночной частицы газа, которое при

очень большом числе частиц (в результате действия закона больших чисел) приводит к простому и ясному закону Бойля-Мариотта (или уравнению Клайперона). Аналогичное проявление действия закона больших чисел следует ожидать от стохастического исследования движения частиц трехфазной среды в подъемной трубе эрлифта.

Эффект Магнуса и его влияние на гидротранспорт с учетом закона больших чисел еще мало изучены. Образование окружающей частицу твердого материала жидкостной оболочки приводит к снижению трения и диссипации энергии.

Вращение потока в ПТ и влияние его на КПД повышается за счет того, что жидкость и твердые частицы концентрируются по середине, а снижается из-за трения о стенки и переменной структуры потока. Анализ исследований позволяет предположить, что вращающийся поток трехфазной среды будет лишен пульсаций, при этом центральная его часть будет двигаться как твердое тело, что также приводит к увеличению КПД подъемной трубы по подъему твердого материала. К снижению пульсаций давления может привести также встречное (противоположное вращению подъемной трубы) закручивание потока. Это может быть технически реализовано путем применения спиралеобразных направляющих внутри подъемной трубы.

Вращение потока в подъемной трубе может быть реализовано путем вращения самой подъемной трубы, как это сделано на установках холдинга «Спецшахтобурение». При этом необходимо учитывать влияние ускорения Кориолиса на структуру потока

$$\overline{a_c} = 2 \cdot \overline{\omega_e} \times \overline{V_r}, \quad (2)$$

где  $\overline{\omega_e}$  - угловая скорость вращения подъемной трубы эрлифта,

$\overline{V_r}$  - относительная скорость движения частиц.

Из этой зависимости видно, что изменение угловой скорости приводит к изменению ускорения Кориолиса. Следовательно, структурообразованием потока пульпы можно управлять, изменяя скорость вращения подъемной трубы.

Применение спиральных направляющих в ПТ и воздухоотделителях, а также использование влияния ускорения Кориолиса приведет к увеличению КПД эрлифта.

Все эти эффекты известны, но не исследованы для эрлифтов.

Ведущиеся в настоящее время на базе промышленных установок холдинга «Спецшахтобурение» исследования свидетельствуют о том, что встречное закручивание потока смеси в подъемной трубе приво-

дит к увеличению КПД подъемной трубы по подъему твердого материала. Применение этого метода для воздухоотделителя может привести также к снижению габаритов.

Необходимо в дальнейшем аналогичные исследования произвести для всасывающего устройства. Закручивание потока приведет к снижению давления в центральной его части, что повысит эффективность процесса всасывания.

Влияние усиления вязкости в пограничных слоях приводит к снижению вязкости до нуля в центральной части потока.[10]

### ***Выводы и направление дальнейших исследований.***

Установлено, что эрлифты могут быть рассмотрены как механические гидротранспортные системы с переменными диссипативными структурами потока жидкости и пульпы.

Предложено использовать закручивание потока для изменения его структуры и, как следствие, увеличения КПД подъемной трубы эрлифта.

В дальнейших исследованиях следует разработать модель неустойчивости режимов потока в подъемной трубе эрлифта с применением стохастических методов.

### Список литературы

1. Энциклопедия эрлифтов / Ф.А. Папаяни, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пашенко, А.П. Кононенко. – Донецк, 1995. – 592 с.
2. Н.Г. Логвинов. Механизм динамической неустойчивости нерегулируемых ступенчатых гидроподъемов / Н.Г. Логвинов // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техніка, 1974. – Вып.37. – С. 56-62.
3. Усков, Е.В. Саморегулируемые многосекционные эрлифтные водоотливные установки / Е.В. Усков // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техніка, 1974. – Вып. 37. – С. 83-88.
4. Сравнительный анализ энергозатрат при осушении емкостей одноступенчатой и многоступенчатой эрлифтными установками / А.В. Игнатов, А.П. Стегниенко, Т.Ю. Варавкина, Д.А. Атрощенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-геологічна». – 2012. – Вип. 2(17). – С. 93–98.
5. Боголюбов Н.Н. Собрание научных трудов в 12-ти тт. / Н.Н. Боголюбов. – М.: Наука, 2006. – Том 5: Неравновесная статистическая механика, 1939—1980. – ISBN 5020341428.
6. Де Гроот, С.Р. Термодинамика необратимых процессов / С.Р. Де Гроот. – М.: Гос. изд.-во техн.-теор. лит., 1956. – 280 с.
7. Зубарев Д.Н. Статистическая механика неравновесных процессов / Д.Н. Зубарев, В.Г. Морозов, Г. Рёпке. – М.: Физматлит, 2002. – Том 1. – ISBN 5-9221-0211-7.
8. Зубарев Д.Н. Статистическая механика неравновесных процессов / Д.Н. Зубарев, В.Г. Морозов, Г. Рёпке. – М.: Физматлит, 2002. – Том 2. – ISBN 5-9221-0212-5.
9. Нелинейные системы гидродинамического типа / Ф.В. Должанский, В.И. Кляцкин, А.М.Обухов, М.А.Чусов. – М.: Наука, 1974. – 156 с.
10. Гринспен Х. Теория вращающихся жидкостей / Х. Гринспен. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 302 с.

*Стаття надійшла до редакції 08.10.2013*

*А.В. Ігнатов, Т.Ю. Варавкіна. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*

**Про деякі питання застосування теорії дисипативних структур для розробки ерліфтного гідропідйому**

*На підставі порівняння проведених раніше в ДПІ експериментальних досліджень ерліфтних установок і характеристики насоса 1ЕЦВ8-40-90 встановлено, що при значеннях відносного занурення змішувача ерліфта більше 0,6 його коефіцієнт корисної дії не менше коефіцієнта корисної дії насоса, що занурюється. Встановлено, що ерліфти можуть бути розглянуті як мехатронні гідротранспортні системи зі змінними дисипативними структурами потоку рідини і пульпи. Запропоновано використовувати зустрічне закручування потоку в підйомній трубі - для зміни його структури і, як наслідок, збільшення ККД підйомної труби ерліфта, у всмоктуючому пристрої - для зниження тиску в центральній його частині, що підвищить ефективність процесу всмоктування.*

**Ключові слова:** коефіцієнт корисної дії, ерліфт, підйомна труба, мехатронний гідротранспорт, дисипативна структура.

*A. Ignatov, T. Varavkina. Donetsk National Technical University*

**On Some Issues of Applying the Theory of Dissipative Structures for Air-lift Hydraulic Hoisting Development**

*Having compared previous experimental research of air-lift units and characteristics of the air-lift pump 1ETSV8-40-90 we found out that when the airlift relative immersion value is more than 0,6 its efficiency coefficient is not less than the efficiency coefficient of the submersible pump. Airlifts can be considered as mechatronic hydrotransport systems with variable dissipative structures of fluid and pulp flow. We suggest using counter swirling of the flow in the lifting pipe (to change its structure and thus increase the efficiency of the airlift lifting pipe) and in the intake device (to reduce the pressure in its central part improving thus the absorption process).*

**Keywords:** efficiency, airlift, lift pipe, mechatronic hydrotransport, dissipative structure.