

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
Политехнический Институт
Факультет Механико-технологический
Кафедра «Гидравлика и гидропневмосистемы»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН
Рецензент, В.И. Форенталь

_____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ / Е.К. Спиридонов
_____ 2018 г.

Разработка учебного стенда с газлифтной
установкой для проведения лабораторных работ
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ
ЮУрГУ–15.03.02.2018.288 ПЗ ВКР

Руководитель работы, доцент

_____ / А.В. Подзерко
_____ 2018г.

Автор проекта
студент группы П-457

_____ / Д.С. Малых
_____ 2018г.

Нормоконтролер, доцент

_____ / А.В. Подзерко
_____ 2018г.

Челябинск 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Малых Д. С. Разработка учебного стенда с газлифтной установкой для проведения лабораторных работ студентами.– Челябинск: ЮУрГУ, МТ; 2018, 80 с., 26 ил., табл. 7., библиографический список – 23 наим., 6 прил., 6 листа графической части ф. А1

Ключевые слова: Эрлифт, газлифт, двухфазное течение, воздушный подъемник, характеристика лифтования, учебный стенд, лабораторная работа.

В первой главе рассмотрены эрлифт и его принцип работы, определены основные рабочие параметры, значительно влияющие на его работы. Описаны основные конструкции, проведен их анализ и сформирована концепция будущего учебного стенда.

Далее, во второй главе изучена теория двухфазного течения, имеющего место в основной подъемной трубе эрлифтных установок. Проанализированы методики расчета эрлифта и сформировано понимание о процессах происходящих в рабочем цикле газлифта.

Выполнено описание собранной установки, составлена методика проведения работ на данном учебном стенде. Приведен отчет о выполненных экспериментах и анализ полученных данных.

Нацелены пути дальнейшей модернизации стенда.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗЛИФТЕ	
1.1 История создания и развития эрлифта.....	9
1.2 Конструкция эрлифтных установок.....	16
1.3 Основные разновидности газлифтных установок	22
2 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ СМЕСИ	
2.1 Суть двухфазного течения	24
2.2 Основные режимы двухфазного течения	26
2.3 Анализ методик расчета гаглифта.....	33
3 РАЗРАБОТКА СТЕНДА	
3.1 Принципы разработки установки.....	39
3.2 Создание конструкции и подбор аппаратуры	40
4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	
4.1 Описание конструкции стенда	46
4.2 Технология проведения работ на стенде	48
4.3 Лабораторная работа №1.....	49
4.4 Лабораторная работа №2.....	51
5 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И АНАЛИЗ	
5.1 Проведение эксперимента.....	54
5.2 Обработка полученных данных.....	65
5.3 Планируемая модернизация.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	71
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. МАСЛЯНЫЙ КОМПРЕССОР	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЭЛЕКТРОННЫЙ РАСХОДОМЕР.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ В. БЛОК ПОДГОТОВКИ ВОЗДУХА	76
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ КНОПКА	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДРОССЕЛЬ РЕГУЛИРУЮЩИЙ.....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПАТЕНТЫ ЭРЛИФТОВ	79

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: Создание учебного стенда с газлифтной установкой, для осуществления лабораторных работ со студентам кафедры.

Задачи работы:

- провести анализ имеющихся конструкций газлифтных установок, выяснить особенности работы с ними и определить наилучшие конструктивные решения для будущего стенда;

- произвести монтаж установки и выполнить на нем ряда работ для снятия первичных характеристик, проанализировать полученные экспериментальные данные, составить в хода анализа отчет и определить недостатки установки;

- создать методику проведения лабораторных работ для студентов;

- заложить дальнейшие пути развития и модернизации стенда.

Эрлифт технология нашедшая широкое применение в различных отраслях промышленности: нефти- и газодобыча, химическое производство, горнодобывающие производства, водоочистные сооружения и т.д. Главными плюсами технологии является простота конструкции и долговечность, за что она и получила широкое применение. Изучением эрлифтов занималось большое количество ученых и исследователей, в этом вопросе получено множество теоретических и экспериментальных данных. Эрлифты относятся к специальному классу насосов, в основу их работы заложен принцип равновесия жидкости в сообщающемся сосуде. Явления, возникающие в процессе работы эрлифтов очень сложно математически описать, поэтому до сих пор не существует обобщённой математической модели. Многие описания и модели эрлифтов сводятся к экспериментальным данным полученным различными учеными. Эрлифты еще полностью не раскрыли свой потенциал, так как их полноценное развитие началось только в середине прошлого столетия, и имеет смысл развивать данную область технических знаний. Благодаря проведению экспериментов и анализа полученных данных можно построить свои модели и продвинуть развитие данной технологии вперед.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАЗЛИФТЕ

1.1 История создания и развития эрлифта

Для конструирования любого оборудования изначально необходимо изучить историю создания и уже имеющиеся конструкции данного механизма.

Эрлифт (газлифт) – вид насоса принцип действия которого основан на физическом законе равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах. В трубу, погруженную на определенную глубину под свободной поверхностью воды, в смесительное устройство (башмак) подается по трубке воздух. Вследствие этого в данной трубе образуется воздушно-водяная смесь, которая значительно легче воды, и поэтому эта смесь поднимается вверх по трубе и сливается из приемной полости в бак для воды. Выходящую из подъемной трубы воздушно-водяную смесь освобождают от воздуха с помощью укрепленного на ней сепаратора зонтичного типа.

Открытие эрлифтного водоподъема относится к 1797 г. и принадлежит германскому горному инженеру Карлу Лошеру. Вследствие недостаточного уровня развития компрессорной техники в этот периода эрлифтный способ гидроподъема применения и прогрессивного развития не получил и был вытеснен насосным способом.

В 1846 г. впервые были использованы эрлифты, которые носили название маммут-насосов, в виде подъемных труб при перемешивании жидкости в сосудах и, в очень незначительной мере, для подъема воды из скважин небольших глубин. Практическое применение эрлифта в качестве гидротранспорта началось с 1882 г. К этому времени получила признание предложенная доктором Ю. Поле простейшая конструкция эрлифта. Начиная с этого периода в литературе появляется ряд работ, в которых освещается опыт применения эрлифтов, объясняются некоторые физические процессы, проходящие в эрлифте, делаются первые шаги для разработки системы расчета эрлифтов. Одно из первых известных в литературе исследований эрлифта, проведенное на типовой установке в 1898 г. профессором высшей технической школы в Берлине Йоссе. В

результате этих исследований он установил некоторые особенности характеристики эрлифта и некоторые кинематические свойства движения водовоздушной смеси.

Впервые широкое применение эрлифтов началось в нефтяной промышленности на Бакинском месторождении нефти с 1897 г. Этот способ добычи нефти был предложен русскими инженерами Шуховым и Бари, о чем писал еще в 1886 г. известный химик Д.И. Менделеев. Вначале в качестве рабочего агента в этих эрлифтах применяли сжатый воздух, а в 20-х годах XIX столетия наряду с воздухом на нефтяных промыслах нашел применение естественный или попутный газ, почему эрлифты получили название газлифты.

Первые попытки применения эрлифтов в США на промыслах в штатах Техас и Луизиана начались с 1901 г., а с 1909 г. этот метод начали применять и в Калифорнии.

С 1927 г. по газлифтному принципу стали добывать нефть в Оклахомском штате в Семиноле. Первоначальное представление о принципе работы эрлифта сводилось к тому, что подъем жидкости в подъемной трубе эрлифта происходит вследствие разности плотности жидкости внешнего напора и водовоздушной смеси непосредственно в подъемной трубе. Теория газлифта получила развитие после опубликования в 1909 г. работы Лоренца, в которой движение газожидкостной смеси в вертикальной трубе рассчитывалось на основании дифференциального уравнения Бернулли для гомогенной сжимаемой среды. В дальнейшем из представления о газожидкостной смеси как о гомогенной жидкости исходили в своих работах: Перени (1911 г.), Кербе (1912 г.), Гибсон (1930 г.), Лейбензон (1931 г.), В.Г. Гейер (1945 г.) и др. В 1929 году Верслуис разработал математический анализ двухфазного потока в качестве дополнения к теории о фонтанирующих скважинах. В 1930 г. в Калифорнийском университете проводятся исследования по подъему нефти на высоту 41,4 фута в трубе диаметром 2 дюйма. В 1936 г. Гослайн определил производительность (подачу) эрлифта путем использования воды и нефти, а также скорость потока в

вертикальной трубе. В этом же году Крамер провел исследования, в которых была получена движущая смесь воды и воздуха по вертикальной трубе. Данная классификация будет подробно рассмотрена во второй главе данной работы. Были также исследованы воздействия погружения эрлифта, соотношения воды и воздуха, температуры жидкостей на характеристики потока. В начале 30-х годов немецкая фирма "A. Borzig" изготовила серию эрлифтных снарядов для добычи гравия. Примерно в это же время во Франции был создан эрлифтный снаряд системы de M. Henry Jandin для речного дноуглубления.

В 1953 г. в Дорогском угольном тресте (Венгрия) были начаты работы по применению эрлифта для добычи песка из-под воды (эрлифтный снаряд системы F. Levardi.). В Венгрии были изготовлены эрлифтные снаряды типа НР различной модификации, системы "Гидроп" и "Гидроп зонд", экспериментальный "Немзет". Промысловое товарищество "Bohr und Bou" в г. Мерзебурге (ГДР) с 1962 г. выпускает три типа эрлифтных земснарядов системы НКА. С 1956 г. проводились опыты с эрлифтными снарядами системы Минморфлота СССР на Азовском море, а с 1962 г.- институтом "ВНИИНеруд" и с 1975 г.- ДПИ.

В 1936 году Тупицын П.М. предложил метод скважинной гидродобычи (СГД) для разработки рыхлых пород. В дальнейшем, как в СССР, так и за рубежом (США, Польша) появилось много предложений по способам и оборудованию СГД в том числе и с эрлифтным гидроподъемом. Начиная с 1964 года в Государственном научно-исследовательском институте горно-химического сырья (ГИГХС) ведутся исследовательские работы по разработке и внедрению технологии скважинной гидродобычи на Кингисеппском месторождении фосфоритов. Ими накоплен опыт, охватывающий целый комплекс исследовательских работ по различным аспектам скважинной гидродобычи, в которые входили лабораторные и теоретические исследования, конструкторские проработки и промышленный эксперимент. Фирма "Маркона" (США) выпускает унифицированные узлы для СГД (гидромонитор, пульповыдачное устройство, всасывающий патрубок, устройство для дробления кусков твердого материала и

др.). Оборудование (передвижная платформа с буровыми установками, насосом, сепаратором и подъемным механизмом) предназначено для гидродобычи урана, карналлита, нефти, битуминозных песков, угля и других полезных ископаемых, которые не могут разрабатываться открытым или подземным способом. С 1943 г. в ДПИ начинаются работы по созданию и внедрению эрлифтов для откачки затопленных шахт Донбасса. Начиная с этого периода действует школа "эрлифтчиков" и разработчиков различных гидротранспортных систем под руководством Гейера В.Г. После второй мировой войны на территории отраслей промышленности: в угольной промышленности (для откачки воды из затопленных послевоенных шахт, что явилось единственным способом эффективного удаления воды из шахт и послужило толчком для внедрения эрлифтов в других отраслях: для очистки различных шахтных водоотливных емкостей, таких как зумпфы стволов, предварительные отстойники воды, колодцы и др.; для гидроподъема горной массы; для водоотлива при проходке стволов; для участкового и погоризонтного водоотлива), в строительном деле (для добычи и гидроподъема песка и гравия, скважинная добыча), на заводах и фабриках при перекачке агрессивных жидкостей и кислот, на обогатительных и горно-рудных комбинатах (подъем горной массы, водоотлив), на тепловых электростанциях для гидроподъема и дальнейшего самотечного гидротранспорта золы и шлака, в химических и металлургических производствах (обезжиривание сосудов и деталей, гидроподъем шлака и окалины и др.), подъем полезных ископаемых (конкреций) со дна водоемов, на сахарных заводах и т. д. Начиная с этого периода в отечественной и зарубежной литературе появляется большое количество работ, посвященных различным вопросам теории и практики эрлифтов. Этими вопросами занимались такие отечественные ученые, как Аргунов П.П., Арманд А.А., Архангельский В.А., Багдасаров В.Ф., Бакланов В.Д., Герман А.П., Гейер В.Г., Газиев Н.Г., Герсеванов Н.М., Груба В.И., Достерин С.И., Козлов Б.К., Кутателадзе С.С., Крылов А.П., Лутошкин Г.С., Логвинов Н.Г., Мамаев В.Л.,

Меликов В.С., Муравьев И.М., Пирверзян А.М., Пороло Л.В., Репин Н.Н., Телетов Г.С., Шищенко Р.И. и многие другие.

Особое внимание следует уделить школе исследователей и разработчиков эрлифтов различного назначения Донецкого политехнического института, руководителем и создателем которой был Гейер В.Г., а после его смерти продолжателями этого направления стали Груба В.И., Логвинов Н.Г. и др. Практическим аспектам использования эрлифтов посвящены работы исследователей этого института (кроме авторов) Адамова Б.И., Антонова Я.К., Винды Б.В., Глухман Л.Л., Гого В.Б., Данилова Е.И., Деканенко В.Н., Каплюхина А.А., Костанды В.С., Костенко А.Г., Малеева В.Б., Малыгина С.С., Мизерного В.И., Миргородского Вал.Г., Миргородского Вл.Г., Скорынина Н.И., Стегниенко А.Л., Стифеева Ф.Ф., Триллера Е.А., Ускова Е.В., Чеченева А.И., Хубаева В.В., Шевченко В.Ф. и других. Из доступной авторам информации следует упомянуть вклад зарубежных ученых: М. Weber, М.Е. Dedegil, G. Clauss (Германия); N.N. Clark, R.J Dabolt, I. Stankovich, K.Woolever, T.P. Meloy, R.L.C. Flemmer, J.N. Stone (США); К. Sekoguchi, К. Matsumura, Т. Nunako (Япония); В.Р.А. Grandjean, F. Ajersch, P.J. Carrean, I. Patterson (Канада); N. Apazidis (Швеция); F. Berleur, M. Giot (Бельгия); U. Sreedharan, S.B. Koganti, G.R. Balasubramanian (Индия). Все эти ученые в известной степени способствовали развитию теории и практического применения эрлифтов.

Основные трудности при изучении движения газожидкостной смеси заключаются в многообразии параметров, а также в сложности экспериментального исследования течения вследствие пульсации измеряемых величин (давления, скорости, относительного содержания компонентов и др.). Абсолютная величина этих пульсаций значительно больше пульсаций аналогичных параметров в турбулентном потоке однородной жидкости. В настоящее время накоплен большой опыт эффективного промышленного применения эрлифтных установок, собран значительный экспериментальный

материал, развиты разносторонние представления о существенных сторонах протекания процесса.

Многообразие режимов движения, большое количество переменных, определяют течение газожидкостной смеси, сложные закономерности между заданными и отвечающими условиям движения параметрами ставит перед учеными и конструкторами занимающими данным вопросом весьма трудные задачи. Поэтому каждый исследователь предлагает свою систему обработки и анализа эрлифта, которые могут сильно отличаться друг от друга. Рассмотрения всего разнообразия данных по данному вопросу является практически не возможным. В рамках разработки данной установки будут рассмотрены публикации наиболее известных ученых.

Основой математического моделирования газожидкостных снарядных потоков являются труды многих видных ученых-гидродинамиков Кутателадзе С.С., Нигматулина Р.И., Уоллиса Г., Хьюитт Д. и др., являющихся обобщением теоретических и экспериментальных исследований. Подтверждением возможности адекватного моделирования снарядных течений являются разработки для множества условий применения - газлифтных скважин горизонтальных трубопроводов, пароводяных потоков в котельных установках и др. Разработана адекватная математическая модель и для описания рабочего процесса общепромышленного эрлифта со снарядной структурой водовоздушной смеси, однако она не позволяет установить влияние на энергоэффективность работы газожидкостного подъемника относительной длины жидкостных пробок снарядного потока, что может быть значительным резервом повышения КПД всей эрлифтной установки.

К недостаткам эрлифтных установок относят:

- низкий КПД, у большинства установок около 20-30%
- необходимость значительной глубины погружения для создания достаточного статического давления
- большая металлоёмкость

– резкое увеличение потребляемого воздуха и мощности компрессора при увеличении глубины возрастания уровня откачиваемой жидкости

Невзирая на некоторое количество недостатков, эрлифты имеют существенные ряд плюсов над другими видами насосов. Эти преимущества изложены в следующих тезисах:

– простота конструкции и монтажа, отсутствие движущихся частей и механизмов, небольшое количество сборочных единиц;

– возможность использования водоподъемника в пескующих и искривленных скважинах;

– возможность высокой производительности эрлифтных установок при сравнительно малом диаметре водоподъемных труб;

– сравнительно большой диапазон высоты подъема воды;

– возможность использования колонны обсадных труб в качестве водоподъемных (при определенных условиях);

– при необходимости возможность подачи воздуха одновременно от одной компрессорной станции к нескольким скважинам.

Основными функциональные задачи, для решения которых применяется эрлифт, являются:

1. для подачи активного циркуляционного ила и подъема сточной жидкости на небольшую высоту на канализационных очистных сооружениях;

2. для подачи химических реагентов на водопроводных очистных сооружениях;

3. для подачи воды из скважин;

4. наиболее важной отраслью применения эрлифтов является нефтедобывающая;

5. откачки жидкости с примесями твердой фазы в горнодобывающей промышленности.

1.2 Конструкция эрлифтных установок

Основные взгляды ученых на явления, способствующие подъему жидкости с помощью эрлифта:

1) подъем жидкости осуществляется за счет энергии расширения воздуха. Данная энергия через трение и непосредственное давление передается жидкости и таким путем осуществляется ее конвекционные перенос;

2) первоначальное подъемное действие газа является относительная скорость жидкостной и газовой фаз гидросмеси;

3) комплекс газовых пузырей работает как негерметичный поршень, теряющий по пути часть поднимаемой жидкости;

4) вводимый в подъемник газ, смешиваясь с жидкостью, создает столб смеси, плотность которой меньше плотности жидкости. Благодаря уменьшению плотности смеси в подъемной трубе при постоянном давления на входе в смеситель возникает возможность подъема жидкости на большую высоту.

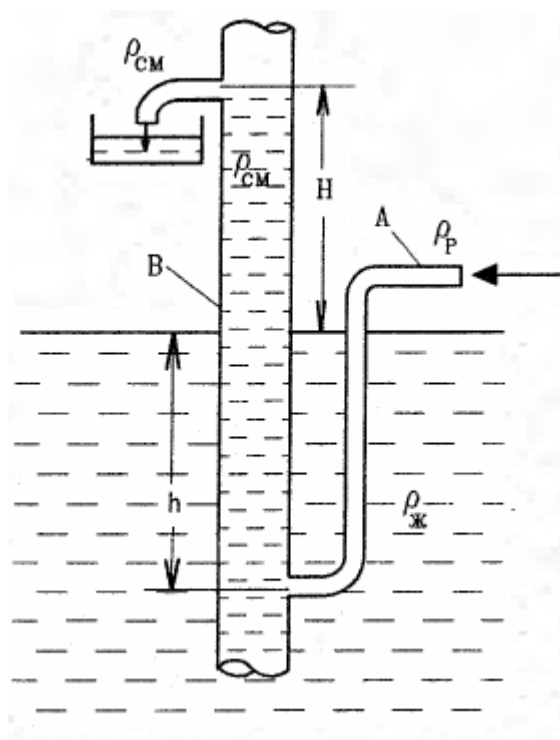


Рисунок -1 Принципиальная схема эрлифта

На рис.1 представлена принципиальная схема эрлифта, показывающая основные параметры, влияющие на работу подъемника.

К таким параметрам относят следующие физические величины:

- 1) h -высота погружения эрлифта под свободную поверхность жидкости;
- 2) H -высота подъема жидкости с помощью установки-эрлифта;
- 3) P_r - избыточное давление подаваемого газа;
- 4) $P_{ж}$ - статическое давление жидкости на глубине равной h ;

Схема классического эрлифта приведена на рис.2, на данной схеме отображены основные конструктивные элементы и их совместное расположение в составе эрлифта.



Рисунок -2 Схема эрлифта

Классическая схема эрлифтной установке представленная на рис.1 имеет не большое число конструктивных элементов, что как уже говорилось ранее, является плюсом данных механизмов.

Всасывающее устройство, предназначенное для обеспечения равномерной и дозированной подачи рабочей среды в трубопровод, в большинстве случаев представляет собой насадку на основную подъемную трубу, в форме колокола. Далее жидкость поднимается по подающей трубе до смесительного устройства в практике именуемого «башмак». В данном устройстве происходит смешивание двух фаз для осуществления основного рабочего процесса.

По основной поднимающей трубе двухфазная смесь поднимается на уровень превышающий уровень жидкости, до воздухоотделителя, где воздух через зонтичное устройство отделяется и уходит в атмосферу, а жидкая фаза по сливному трубопроводу попадает в приемный бак.

Питание установки воздухом или газом осуществляется при помощи компрессора, подключенного к смесителю с помощью воздухоподающего трубопровода.

Важным рабочим параметром эрлифта является h - высота погружения смесителя относительно свободной поверхности жидкости, H - высота подъема, подъем жидкости от свободной поверхности до необходимого рабочего уровня.

На нижнюю часть воздухоподающего канала рекомендуется устанавливать обратный клапан для предотвращения заполнения его жидкостью.

Скорость движения воды в эрлифте определяется величиной расхода подаваемого воздуха, что позволяет регулировать работу установки, и уменьшать величину динамического давления при пуске установки для обеспечения нормальной работ эрлифта.

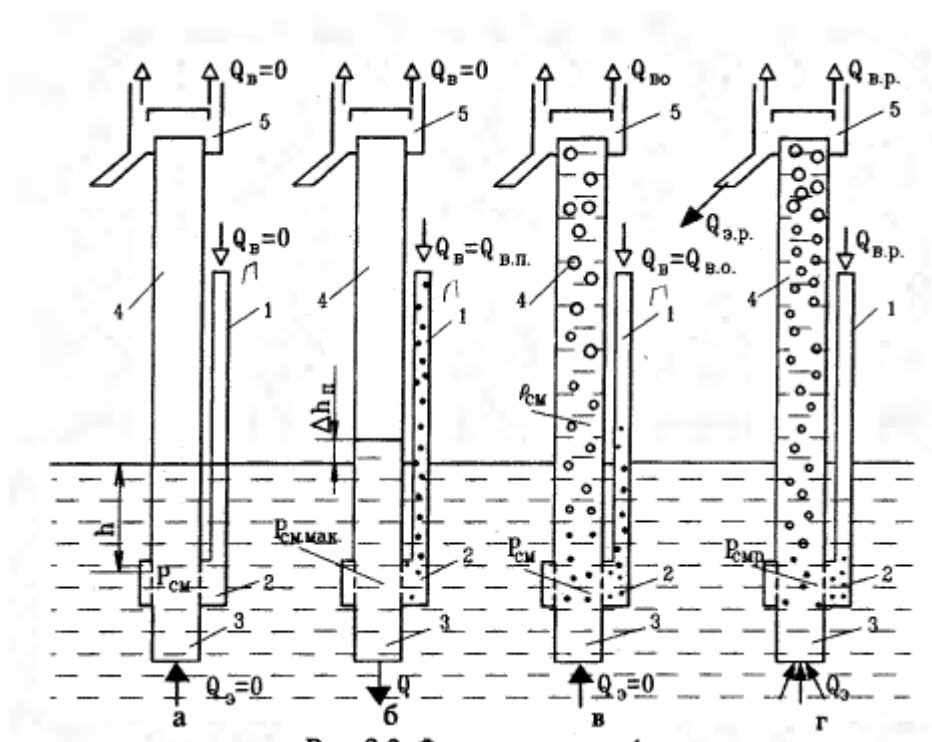


Рисунок -3 Принцип работы эрлифта

Фаза а- подача воздуха равна нулю, статическое давление в смесителе определяется погружением смесителя h .

При подаче воздуха в воздухоподающую трубу начинается вытеснение жидкости из последней части смесителя в подъемную трубу и далее через ее нижнюю часть в водоем, что определяет постепенное повышение давления сжатого воздуха, максимальное значение которого достигается в момент подхода переднего фронта воздуха к смесителю(фаза б).

Фаза в- смесь жидкости и газа , имеющая меньшую плотность чем вода поднимается по колонне в верх.

Фаза г- в воздухоотделителе воздух уходит в атмосферу, а жидкость по трубе попадает в водосборную емкость.

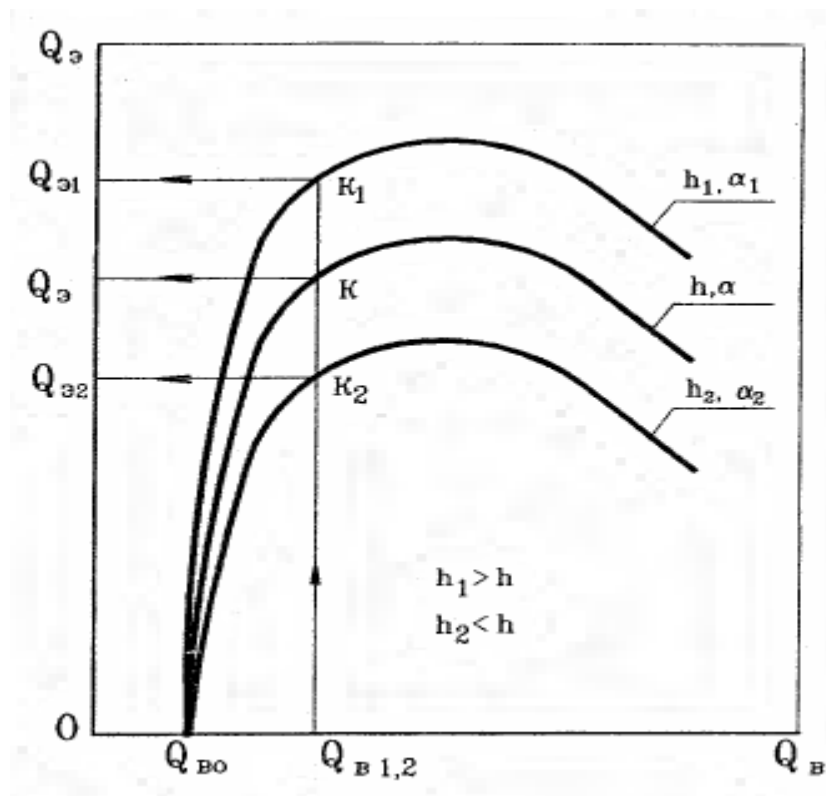


Рисунок -4 Характеристика лифтования классического эрлифта

Характеристика эрлифтов имеет параболическую форму, начинается в точке $Q_{во}$, где расхода воздуха становится достаточным для начала подачи смеси. Далее виден характерный «горб» наиболее оптимального режима работы и падение характеристики.

Как видно из теоретических данных полученных предыдущими исследователями характеристики эрлифта для различных высот погружения выходят из одной точки. С увеличением расхода воздуха характеристики все больше расходятся друг от друга, но в зоне предпочтительной работы характеристики практически параллельны друг другу.

Слишком низкий расход воздуха не обеспечивает необходимый уровень подъема смеси в основной колонне, также и слишком большой расход воздуха создает в трубе воздушные пробки и не дает высоких значений расхода воды на выходе из газлифта. В связи с этим необходимо ограничиваться в работе заранее установленными значениями расхода воздуха, дающими наибольший расход эрлифта и, следовательно, наибольший КПД (коэффициент полезного действия) установки.

Построение характеристики КПД для эрлифтов возможно только по экспериментальным данным, это связано с приближенным расчетом установки в момент расчета. Далее рассмотрим данную характеристики отнесенную к характеристики лифтования.

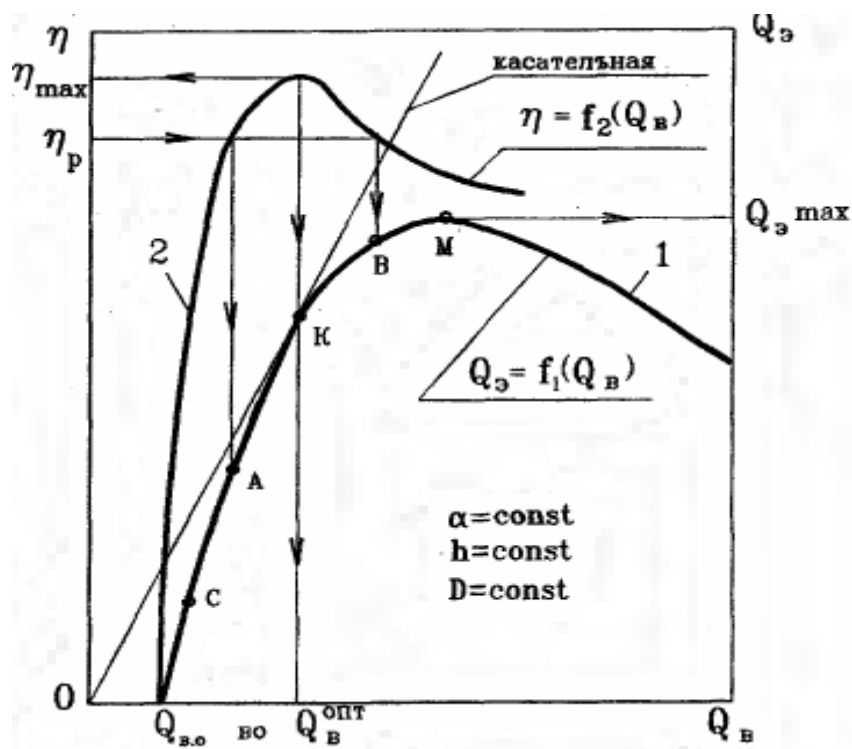


Рисунок -5 Определения зоны оптимальной работы эрлифта

По комбинации данных характеристики видно, что зона наибольшего КПД смещена относительно экстремума характеристики лифтования влево, следовательно и зона оптимальной работы смещена влево относительно экстремума характеристики.

Расходная характеристика эрлифта имеет ряд характерных точек. Точка К является наиболее оптимальной для работы. Диапазон АВ определяет наиболее оптимальные режимы работы, в этой зоне к.п.д машины не меньше 0.85 от максимального значения.

Но так как КПД эрлифтов не достигает высоких значений и в большинстве случаев не превышает 35%, а по графику видно, что падение КПД на уровне «горба» характеристики эрлифта не значительно-то всю зону высоких расходов воды можно считать зоной оптимальной работы эрлифта.

1.3 Основные разновидности газлифтных установок

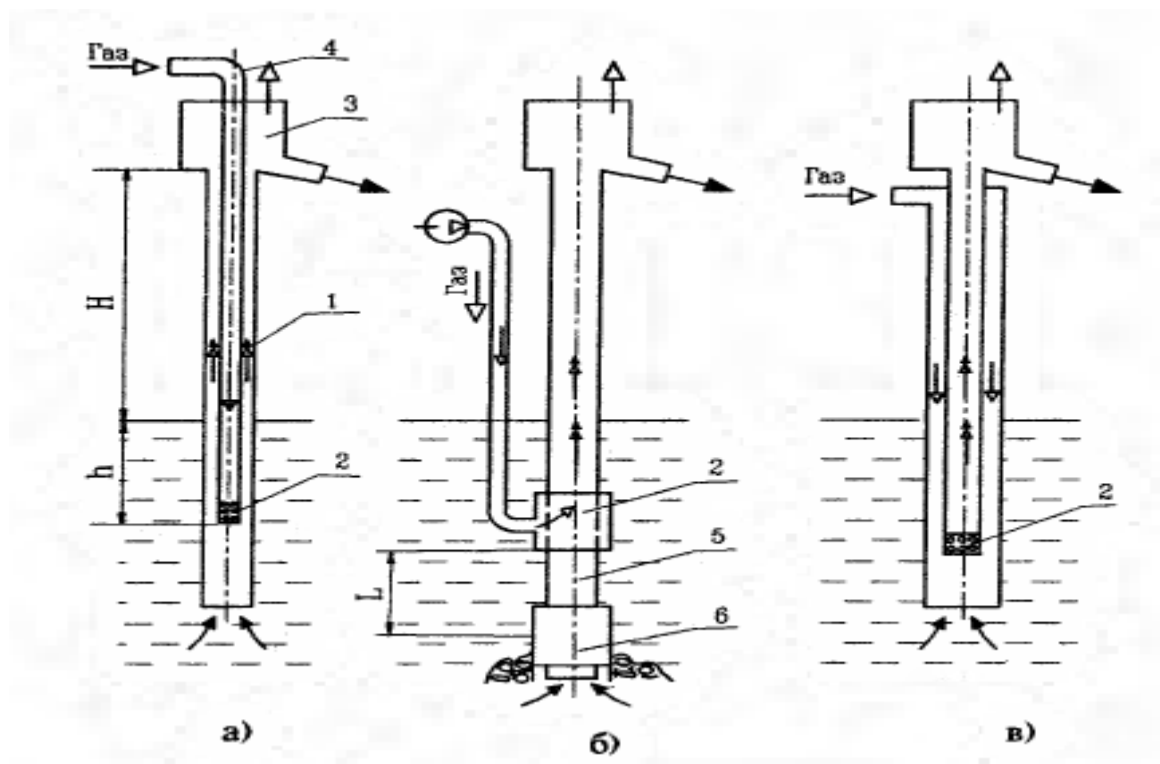


Рисунок -6 Примеры конструктивных схем эрлифтов

а – центральная схема; б – схема Ю. Поле; в – схема Саундераса.

На схеме приведены типовые конструктивные решения эрлифтов. Основные их различия в совместном расположении воздухопровода и основной трубы эрлифта.

Под буквой б представлена схема Ю. Поле, здесь воздухопровод расположен параллельно подъемному трубопроводу. Схема сложнее по монтажу и увеличивает свои габариты, но избавляет влияние транспортируемой среды на воздухоподающий канал. Является наиболее предпочтительной и универсальной.

Под буквой а находится кольцевая система, также называемая центральной, воздух здесь подается по внутреннему каналу, который помещен в центре подъемного трубопровода, концентрично. Смесь в этом случае подается по кольцевому пространству образованному двумя трубами. Является компактной, но сложной в монтаже и конструировании. Явным минусом данной конструкции является износ внешней поверхности воздушного канала.

Кольцевая система с обратным расположением каналов, называется система Саундерса, используется для подъема жидкости из скважин.

Также различают эрлифты по способу питания, к ним относятся - классическое питание компрессором, активная среда подается с помощью нагнетая воздуха компрессором в воздухоподающем канале, за счет чего осуществляется работа установки.

Под вакуумным питание подразумевается создание в области башмака недостатка по давлению, происходит повышение уровня жидкости, затем открытие клапанов и воздух из атмосферы устремляется в зоны пониженного давления, где происходит смешивание сред и подъем жидкости по подъемной трубе в бак.

Возможно совмещение двух данных систем питания, что поможет увеличить максимальную высоту подъем эрлифта. Но данная схема является наиболее сложной конструктивной, в плане монтажа и эксплуатации. Что сильно сказывается на экономической составляющей данных видов установок-эрлифтов.

Чтобы удостовериться в преимуществах и недостатках каждой из трех классических схем, планируется в дальнейшем воплотить в жизнь все схемы на лабораторной установки. Для этого необходимо на стадии проектировки заложить возможности модернизации и перестройки стенда. В обсадной колонне имеется дополнительное отверстие в нижней части для ввода воздуха по схеме Ю. Поле.

Наибольшие проблемы могут возникнуть с реализацией схемы Саундерса, которую придется реализовывать в другой обсадной колонне. По этой причине к ее реализации приступим в последнюю очередь.

2 ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ СМЕСИ

2.1 Природа двухфазного течения

Фазой называют одно из состояний вещества, которое может быть газообразным, жидким или твердым. Многофазное течение – это совместное течение нескольких фаз. Двухфазный поток представляет собой частный случай многофазного течения, включающий в себя два разнородных компонента. Это жидкости с твердыми или газовыми включениями, газы с каплями жидкости или твердыми частицами. В природе многофазными средами являются дым, туман, смог, дождь и т.д. В технике типичным примером двухфазного потока является поток пара с каплями жидкости. Даже при адиабатическом течении такой смеси в вертикальном канале капли жидкости соприкасаются со стенкой, образуя стекающую пленку жидкости.

Перечень промышленных объектов, использующих двухфазные потоки, чрезвычайно широк. Это паровые котлы паросиловых установок, выпарные установки химических и пищевых производств, газо- и нефтепроводы, криогенные системы, испарители и конденсаторы холодильных установок и многое другое.

Двухфазные газожидкостные потоки в каналах широко применяются в различных технологических приложениях: в атомной и теплоэнергетике, химической, пищевой, фармацевтической промышленности, при совместной добыче и транспорте нефти и газа.

Двухфазные течения представляют собой газожидкостные потоки, характеризующиеся большим разнообразием режимов и структур. Они существенно турбулентны, поскольку пузырьки газа в потоке движутся со скоростями, отличающимися от скорости движения жидкости. Поскольку строгое математическое описание двухфазных потоков, как правило, крайне затруднено из-за сложности определения межфазных границ, в инженерной практике обычно используют эмпирические или полуэмпирические соотношения.

В общем случае движение газожидкостной смеси является движением смеси с газом, растворенным в жидкости. Так как максимально возможное количество газа, растворенного в единице объема жидкости, зависит от давления, то при движении смеси во времени изменяется давление, вследствие чего меняется объем и масса свободного газа в потоке, а также масса и плотность смеси.

Для расчета различного современного технологического оборудования необходимо знание информации о структуре, осредненными и пульсационными характеристиками двухфазных потоков. Существующие в настоящее время модели требуют обязательного привлечения эмпирической информации. Экспериментальные данные необходимы для разработки новых, более точных и простых моделей газожидкостных течений. Известно, что тепло и массообменные характеристики двухфазных потоков зависят от режима течения смеси, от геометрии течения и направления движения фаз. Существенное влияние на структуру потока оказывает размер дисперсной фазы. Проведенные в последнее время исследования газожидкостных течений показали, что в ряде случаев имеется существенное отличие двухфазных потоков от однофазных даже при малых значениях расходного газосодержания. Смесь, содержащая мелкодисперсную газовую фазу, обладает существенно большей площадью межфазного взаимодействия, по сравнению со смесями, содержащими крупные газовые включения, что важно для процессов межфазного массообмена.

2.2 Основные режимы двухфазного течения

Благодаря современным способам исследований данный вид течения жидкости был изучен более детально. Были установлены условные режимы течения и найдены границы этих режимов по различным параметрам газожидкостной смеси. Методика исследования заключалась в видео- и фото-съемке потока в прозрачном трубопроводе, входе данных испытаний исследователи наблюдали и зафиксировали следующие режимы течения)в работах различных ученых можно найти несколько отличающиеся классификации).В основном выделяют 3-4 режима течения:

Пузырьковый поток – наиболее изученная форма течения. В пузырьковом режиме газовая фаза распределяется более или менее однородно в виде дискретных пузырьков в непрерывной жидкой фазе. Размеры пузырьков малы по сравнению с характерным размером поперечного сечения канала. С увеличением расхода газа число и размеры пузырьков возрастают. Иногда различают два вида пузырькового течения: режим отдельных пузырей, в котором пузыри размещаются на определенном расстоянии друг от друга и не контактируют между собой, и пузырьковый поток, который характеризуется плотной упаковкой взаимодействующих друг с другом пузырей.

Современным исследователем была установлена связь в пузырьковом режиме течения места пузырьков и их формы от числа Рейнольдса, данные полученные Лобановым П.Д. для его параметров потока приведены далее,

1) $Re_{\pi} < 70$ – пузырьки всплывают вблизи стенки трубы, движение пузырьков прямолинейное, форма сферическая;

2) $70 < Re_{\pi} < 150$ – пузырьки двигаются по оси трубы, но все еще сохраняют сферическую форму, движение таких пузырьков прямолинейно;

3) $150 < Re_{\pi}$ – форма пузырьков становится эллиптической, среднее расстояние от оси несколько увеличивается из-за перехода от прямолинейного движения к зигзагообразному.

Снарядный режим в практике чаще появляется в капиллярном течении. Когда концентрация пузырьков, при пузырьковом течении становится высокой, происходит слияние пузырьков, и постепенно диаметр пузырьков приближается к диаметру трубы. В этом случае устанавливается снарядный режим течения с характерной формой пузырей, напоминающей форму артиллерийских снарядов. Газовые «снаряды» периодически чередуются с жидкими пробками, внутри которых существуют мелкие пузырьки. Между газовым снарядом и стенкой трубы стекает вниз тонкая пленка жидкости.

Эмульсионный режим (иногда его называют вспененным) похож на снарядный, но он намного хаотичней и беспорядочней. Пузыри газа здесь различной формы и размеров, довольно равномерно распределенных в жидкой фазе. Непрерывность жидкости в пробке между газовыми снарядами постоянно нарушается из-за высокой локальной концентрации газа. Как только это случается, жидкость обрушивается и собирается ниже, формируя перемычку, и затем опять поднимается вверх газом. Типичный эмульсионный режим в трубах большого сечения представляет собой колебательное движение жидкости вверх и вниз по трубе. В трубах малого сечения колебания могут не возникать и в этом случае будет наблюдаться более плавный переход от снарядного течения к кольцевому. Для этого режима характерны сравнительно малые относительные скорости газа и жидкости, средние значения относительной скорости пузырьков газа находятся в пределах от 0,01-0,4 м/с.

Дисперсно-кольцевой режим. В дисперсно-кольцевом режиме (также иногда называют стержневым) газовая фаза образует ядро потока. Жидкость течет вверх в виде тонкой пленки по поверхности трубы, а также мелких капель, находящихся в газовом ядре. Возможны два предельных случая дисперсно-кольцевого режима – кольцевой (вся жидкость движется в виде пленки по стенке трубы) и дисперсный (вся жидкость движется в виде мелких капель, а стенка омывается газом). Данная структура течения смеси обладает высокими относительными скоростями более 1,2 м/с.

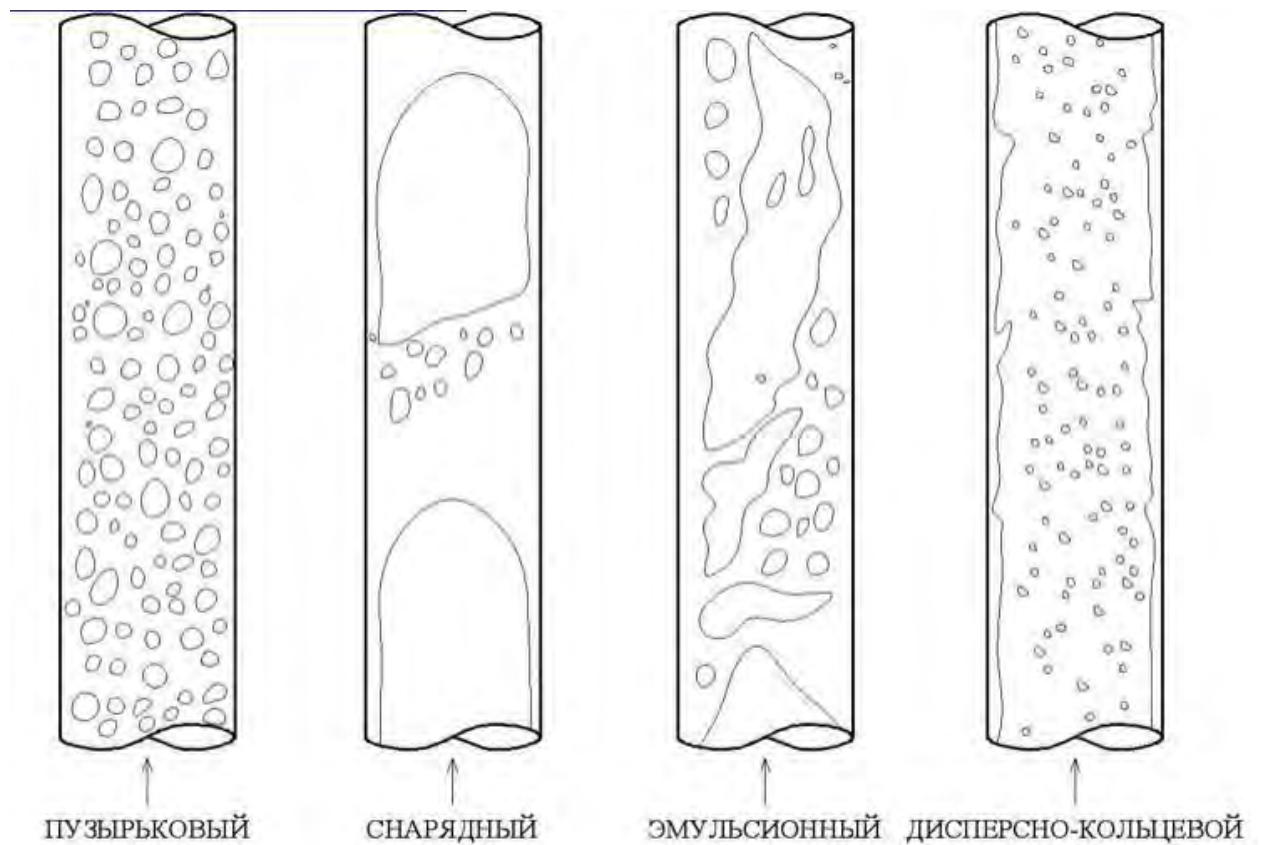


Рисунок -7 Режимы течения двухфазной среды в вертикальном трубопроводе

Следует отметить, что точно установить границы между режимами течения довольно сложно, так как различные ученые приводят не согласованные эмпирические данные. Данные эксперименты и оценку режима течения рекомендуется выполнять для каждого частного случая отдельно, используя рекомендации из ранее написанных работ.

Основные расходные параметры двухфазного потока

$M_{ж}$ и $M_{г}$ – массовые расходы жидкости и газа;

$$Q_{ж} = \frac{M_{ж}}{\rho_{ж}} \text{ и } Q_{г} = \frac{M_{г}}{\rho_{г}} \text{ – объемные расходы жидкости и газа;}$$

$$x = \frac{M_{г}}{M_{г} + M_{ж}} \text{ – массовое расходное газосодержание потока;}$$

$$\beta = \frac{Q_{г}}{Q_{г} + Q_{ж}} \text{ – объемное расходное газосодержание;}$$

$$\rho_{\beta} = \beta \cdot \rho_{г} + (1 - \beta) \cdot \rho \text{ – Средняя расходная плотность потока.}$$

Истинные параметры двухфазного потока:

$$\varphi = \frac{F_{\Gamma}}{F} - \text{истинное объемное газосодержание (} F_{\Gamma} - \text{площадь занятая газовой фазой, } F - \text{площадь сечения трубы);}$$

$$U_{\Gamma\text{М}} = \frac{U_{\Gamma}}{\varphi} - \text{истинная средняя скорость газа;}$$

$$U_{\text{ЖМ}} = \frac{U_{\text{Ж}}}{1 - \varphi} - \text{истинная средняя скорость жидкости;}$$

$$U_{\text{ОТН}} = U_{\Gamma\text{М}} - U_{\text{ЖМ}} - \text{относительная скорость фаз;}$$

$$\rho_{\text{С}} = \varphi \cdot \rho_{\Gamma} + (1 - \varphi) \cdot \rho - \text{истинная средняя плотность смеси.}$$

Рассмотрим установившееся течение двухфазной смеси. Важнейшими характеристиками такого потока являются массовые и объемные доли фаз соответственно в массовом и объемном расходе смеси. Введем понятие объемной концентрации легкой фазы – это доля объема смеси, занимаемая газом. Рассмотрим поперечное сечение канала, тогда средняя, объемная концентрация

(объемное газосодержание) легкой фазы будет определяться выражением $\varphi = \frac{S_1}{S}$,

где S_1 - площадь поперечного сечения, занимаемая газом, S - площадь поперечного сечения канала. Значение φ необходимо для определения веса вертикального столба двухфазной жидкости для анализа силового взаимодействия потока со стенкой канала. Средняя концентрация жидкой фазы - это доля объема смеси, занимаемая жидкостью. Она будет выражаться величиной $(1 - \varphi)$.

Плотность смеси запишется в виде

$$\rho_{\text{см}} = \rho_1 \varphi + \rho_2 (1 - \varphi), \quad (2.1)$$

где индексами «1» и «2» будем обозначать соответственно газ и капли жидкости, индекс «см» обозначает смесь, ρ - плотность фазы.

Объемное газосодержание отличается от объемного расходного газосодержания из-за относительного движения фаз. Расходная, объемная концентрация (газосодержание) определяется выражением

$$\beta = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}, \quad (2.2)$$

где Q - объемный расход фазы.

Расходная массовая концентрация связана с расходной объемной концентрацией через плотности фаз

$$X = \frac{Q_1 \rho_1}{Q_1 \rho_1 + Q_2 \rho_2} = \frac{G_1}{G_1 + G_2}, \quad (2.3)$$

где G - массовый расход фаз.

Используется понятие массовой концентрации

$$C_1 = \frac{\rho_1 \varphi}{\rho_1 \varphi + \rho_2 (1 - \varphi)}, \quad C_2 = \frac{\rho_2 (1 - \varphi)}{\rho_1 \varphi + \rho_2 (1 - \varphi)}$$

Динамическая вязкость смеси вычисляется следующим образом

$$\mu_{см} = \mu_1 X + \mu_2 (1 - X), \quad (2.4)$$

где $\mu_{1,2,см}$ - вязкость газовой, жидкой фаз и смеси соответственно.

Для оценки режимов течения различные ученые создали графические карты режимов течения двухфазного потока в вертикальном трубопроводе. Рассмотрим две наиболее применимые карты режимов по системе С.С. Кутателадзе и Хьюнтту.

Карта режимов по Кутателадзе разработана на основании оценки ряда безразмерных параметров, являющимися параметрами подобия, что дает возможность анализа любого эрлифта по данной карте. В основу карты положен критерий устойчивости k и безразмерная координата N .

$$N = Fr \cdot We^{1.25} \cdot \left(1 + \frac{31}{Ga^{0.55}}\right), \quad (2.5)$$

Где Fr - число Фруда , являющиеся отношением сил инерции к силам гравитации.

We - число Вебера, отношение сил инерции к силам поверхностного натяжения.

Ga - число Галилея, критерий подобия полей свободного течения.

Критерий характеризует условия начала деформации поверхности раздела фаз и соответственно начала структурных изменений в существующей газожидкостной системе под воздействием динамического напора, архимедовой силы и поверхностного натяжения. Критерий устойчивости был введен С.С. Кутателадзе и играет важную роль в ряде процессов взаимодействия газа и жидкости в трубах.

$$k^2 = \frac{\rho'' \cdot \omega_{кр}''^2}{\sqrt{g^\sigma (\rho' - \rho'')}} \quad (2.6)$$

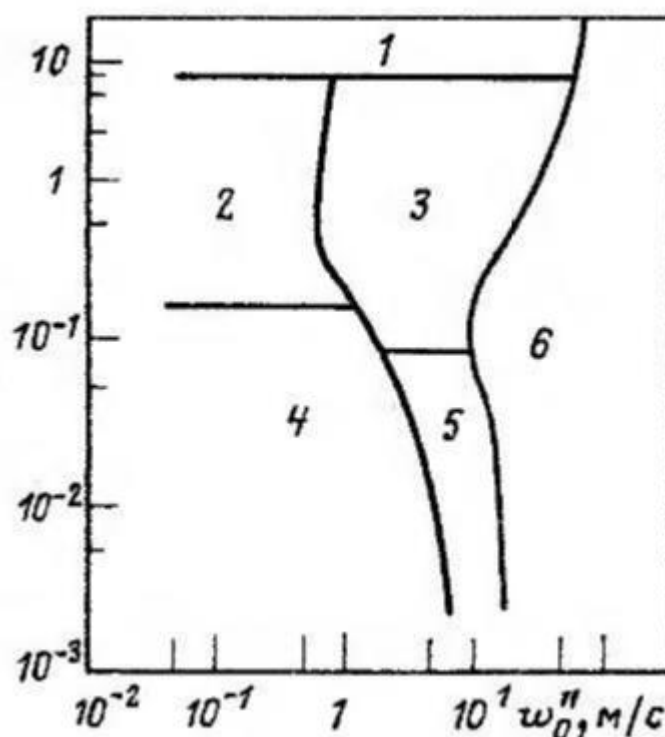


Рисунок -8 Карта режимов течения двухфазной смеси (по Кутателадзе)

На данной карте под 1 обозначен пузырьковый режим течения, 2- пузырьково-снарядный режим, являющийся промежуточным и многими учеными не совсем не рассматриваемый, 3- снарядный, 4- пенный или эмульсионный в новых учебниках, 5- кольцевой, 6- дисперсно-кольцевой.

Для вертикальных потоков в качестве примера приводится карта режимов течения Хьюитта и Робертса. Она оказалась удобной для корреляции как данных для воды и воздуха при атмосферном давлении, так и данных для воды и пара при высоких давлениях. На осях отложены приведенные потоки импульса фаз.

Приведенный поток импульса - это произведение плотности фазы на квадрат ее приведенной скорости. Относительно использования карт режимов течения следует сделать предостережение. Режимы течения, действительно наблюдаемые в каналах, могут решающим образом зависеть от условий ввода фаз в канал. Кроме того, в обогреваемых каналах истинное содержание фазы часто неизвестно из-за отклонения от термического равновесия. Эти факторы в сочетании с упомянутыми выше проблемами определения режимов течения делают карты режимов по существу качественными. Их следует использовать с осторожностью скорее в качестве общего указания на вероятность того или иного режима, чем в качестве определенного показателя того, что этот режим действительно имеет место в данной ситуации.

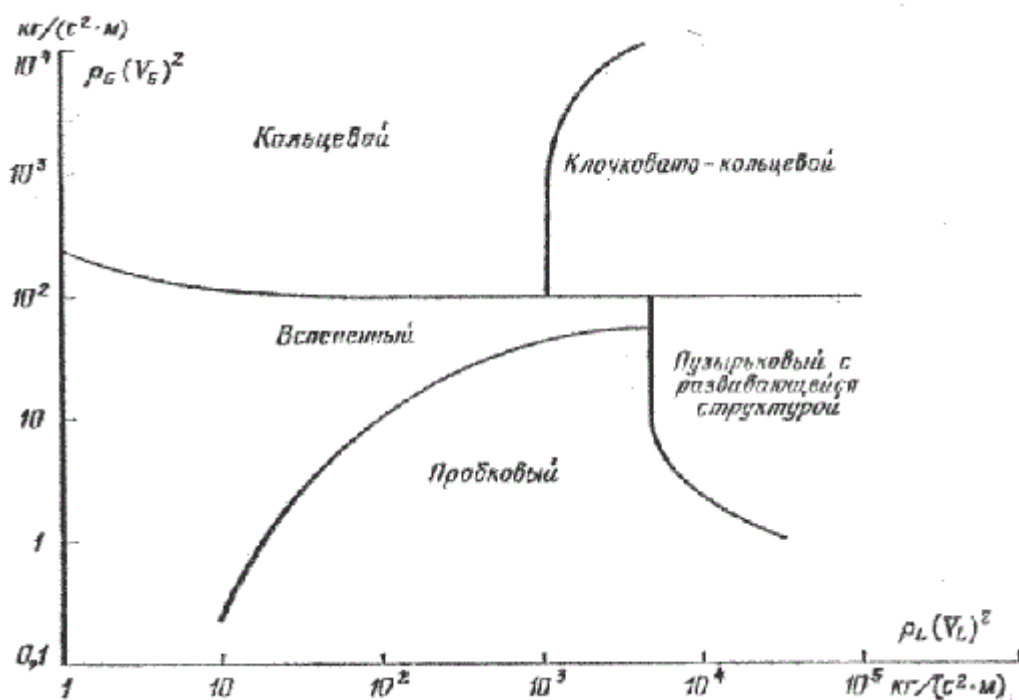


Рисунок -9 Карта режимов течения (по Хьюитту и Робертсу)

2.3 Анализ методик расчета газлифта

Разнообразие рабочих процессов в которых применяется эрлифт во многих отраслях промышленности является причиной возникновения большого количества методов их расчета. Это объясняется необходимостью изучения данного вопроса, и стремлением большого числа авторов наиболее простыми и доступными методами. Основанными на аналитических и экспериментальных исследованиях, описать и изложить сложный процесс движения многофазной смеси в проточной части эрлифта.

Для описания используются основные параметры двухфазного потока изученные и изложенные во второй главе выпускной классификационной работы. Для составления дифференциальных уравнений движения и рабочего процесса эрлифта не учитываются изменения фазового состояния входящих в газожидкостную смесь компонентов, так как входе многообразия режимов двухфазного течения это создает не решаемую задачу. Ряд ученых (С.Г.Телетов, Ф.И. Франкль, А.К. Дюнин с соавторами, Б.А. Фидман) независимо друг от друга составили общие дифференциальные уравнения на основании осреднения экспериментальных мгновенных величин. Данные уравнения не позволяют получить точных значений работы эрлифта, кроме отдельного ламинарного течения газа и жидкости. Совместное исследования уравнений с экспериментальными данными позволяют определить некоторые критерии подобия, являющимися базой для постановки и анализа данных экспериментов.

Простейшая модель газожидкостного потока в трубе, которую можно использовать для расчета величин нивелирного напора, является гомогенная, разработанная и впервые примененная Г. Лоренцом. В этой модели относительная скорость газа в жидкости принимается равной нулю, смесь в этом случае можно рассматривать как однофазную жидкость, обладающую соответствующими реальному потоку средними свойствами, движение смеси описывается уравнениями однофазной среды. Данная модель дает близкие у реальным

результаты лишь в очень редких случаях, поэтому данную модель в наше время не используют даже в качестве грубого приближения.

Модель раздельного течения базируется на использовании уравнений непрерывности движения и энергии отдельно для каждой фазы и шесть уравнения должны решаться в сумме с уравнениями, описывающими физическую сущность взаимодействия фаз между собой и со стенками трубопровода. Решение такой системы уравнений не возможно, поэтому реализация модели раздельного течения сводится к эмпирическому(полуэмпирическому) получению критериального уравнения для определения истинного газосодержания:

$$\varphi = \varphi[\beta, Fr_c, Re_c, We, \bar{\rho}, \bar{\mu}, \dots] \quad (3.1)$$

По данным большого числа исследователей только два из перечисленных параметров оказывают существенное влияние на газосодержание, к ним относятся: β и Fr_c . По рекомендации другого ряда ученых не следует отбрасывать остальные параметры, но в нашем расчете я пренебрегаю ими в теоретической части и буду внесены поправки после получения экспериментальных данных. Большинство имеющихся критериальных уравнений достоверны лишь в области параметров потока, для которых они получены. Из чего можно сделать вывод, что для расчета эрлифта необходимо провести приближенный расчет и вносит поправки в характеристику эрлифта после получения экспериментальных данных.

Г. Уоллис разработал модель называемую, моделью потока дрейфа. Данная модель представляет собой модель раздельного течения, в которой исследуется не движение отдельных частиц, а их относительное движение. Модель потока дрейфа хорошо себя показывает в потоках, в которых значительны эффекты неоднородности.

В ходе моих изучений специализированной литературы было установлено что множество ученых и исследователей работали в этой области и предлагали свои варианты расчетных уравнений, многие подходят только под условия в которых они получены и анализировались. Расчеты основывались на

всевозможных параметрах и характеристиках: газосодержание, относительные скорости, расходы рабочих сред, энергия теряемая в ходе потока и т.д.

Переработанная модель, учитывающая ряд данных параметров была предложена Г.Лоренцом :

$$Q_э = \frac{1}{1+q \cdot \frac{P_0}{P_0+0.5 \cdot \rho \cdot g \cdot h}} \cdot \left[\frac{h}{a_э} \cdot \left(1 + q \cdot \frac{P_0}{P_0+0.5 \cdot \rho \cdot g \cdot h} - \frac{1}{\alpha} \right) \right]^{0,5}, (3.2)$$

$a_э$ – коэффициент сопротивления подъемной трубы эрлифта

h – геометрическое погружение смесителя

P_0 – атмосферное давление

ρ – плотность транспортируемой жидкости

α – относительное погружение эрлифта $\alpha = \frac{h}{H+h}$

После объединения результатов работ ряда ученых на основании критерия подобия-числа Фруда и переосмысление работ В.Г. Гейгера получена методика в которой, подача пропорциональна эквивалентному диаметру подъемной трубы в степени 2,5. Данная модель является заслугой ряда ученых: ак. А.П. Германов, пр. П.П. Агрунов и В.Г. Гейгер, основана она на применении безразмерных характеристик, что позволяет использовать ее в теории подобия при расчете установок.

$$Q_э = 0.125 \cdot D^{2.5} \sqrt{\frac{23 \cdot q \cdot \log\left(\frac{h}{10}+1\right) - H}{(q+1)^2 \cdot \frac{D^5}{D^4} + 0.022 \cdot (H+h) + 23 \frac{q}{h} \log\left(\frac{h}{10}+1\right)}} = C \cdot D^{2.5}, (3.3)$$

$D_в$ – диаметр выходного торца подъемной трубы

q – удельный расход воздуха

Производительность эрлифта определяется эмпирической зависимостью:

$$Q_э = C \cdot d_n^{2.5}, (3.4)$$

где C и d_n соответственно коэффициент подачи (производительности) и диаметр подъемной трубы эрлифтной установки, являющиеся эмпирическими.

Объемная производительность эрлифта существенно уменьшается с увеличением плотности транспортируемой пульпы, а массовая производительность меньше подвержена этим изменениям.

В связи с этим при определении эксплуатационных параметров эрлифта используется зависимость:

$$G_n = C \cdot d_n^{2.5}, \quad (3.5)$$

где G_n – массовая производительность эрлифта, т/с;
 α - относительное погружение смесителя:

$$\alpha = \frac{h}{h + H}, \quad (3.6)$$

где h - глубина погружения смесителя, м;
 H - высота подъема жидкости над ее уровнем в емкости, м.

Избыточное давление в смесителе эрлифта при рабочем режиме определяется зависимостью:

$$P_{изд} = \rho_{ж} \left[h - \left(\frac{\rho_{ж}}{\rho} (i_0 - 1) - 1 \right) l_{жс} \right], \quad (3.7)$$

где $\rho_{ж}$ - плотность жидкости в подводящем трубопроводе с учетом скольжения жидкости относительно газовой фазы, кг/м³;

i_0 - гидравлический уклон подающей трубы при движении в ней только жидкости.

Скорость относительного скольжения жидкой фазы:

$$V_{ожж} = (1 - 0,3C_{об})V_s, \quad (3.8)$$

где V_s - скоростьстесненного падения одиночных фракций в условиях однофазного потока, м/с.

$$V_s = \sqrt{\frac{4(\rho_{ж} - \rho)gd_{ср}}{3\rho C_s}}, \quad (3.9)$$

где C_s - коэффициент сопротивления движению твердого тела.

После преобразований получим:

$$G_x = d_x^{2.5} (C_0 + C_1 \bar{\eta} + C_2 \bar{\eta}^{-2}) (\alpha + a_1 \alpha + a_2 \alpha^2) \quad (3.10)$$

или

$$PG_x = \alpha + a_1 \alpha + a_2 \alpha^2 \quad (3.11)$$

Из (4.1.8) относительное погружение α будет иметь вид:

$$\alpha = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - PG_x)}}{2a_2} \quad (3.12)$$

Подставив (4.1.9) в (4.1.4), получим:

$$P_{\text{сум}} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - PG_x)}}{2a_2} \cdot \frac{\rho_m V_{\text{ж}} + \frac{\rho}{C_{\text{об}}} (V_{\text{ж}} - V_{\text{отн}})}{(V_{\text{ж}} - V_{\text{отн}}) \frac{1}{C_{\text{об}}} + V_{\text{ж}}} \cdot g(h + H) \quad (3.13)$$

где $V_{\text{ж}}$ - скорость движения жидкости, м/с;

где

$$B = \frac{4 \cdot 10^3}{\lambda d_{\text{хе}}^2 \rho_{\text{ж.ср.}}}$$

Тогда выражение для определения давления в смесителе примет вид:

$$P_{\text{сум}} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - PG_x)}}{2a_2} \cdot \frac{\rho_m V_{\text{ж}} + \frac{\rho}{C_{\text{об}}} (V_{\text{ж}} - V_{\text{отн}})}{(BG_x - V_{\text{отн}}) \frac{1}{C_{\text{об}}} + V_{\text{ж}}} \cdot g(h + H) \quad (3.14)$$

Учитывая, что гидравлический уклон i_0 определяется $i_0 = \lambda \frac{V_{\text{ж}}^2}{2gd_{\text{хе}}}$, получим:

$$\begin{aligned} & \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - PG_x)}}{2a_2} \cdot \frac{\rho_m V_{\text{ж}} + \frac{\rho}{C_{\text{об}}} (V_{\text{ж}} - V_{\text{отн}})}{(BG_x - V_{\text{отн}}) \frac{1}{C_{\text{об}}} + V_{\text{ж}}} \cdot g(h + H) = \\ & = g \left[\rho h - l_{\text{хе}} \left\{ \frac{\rho_m BG_x + \frac{\rho}{C_{\text{об}}} (BG_x - V_{\text{отн}})}{(BG_x - V_{\text{отн}}) \frac{1}{C_{\text{об}}} + BG_x} \cdot (AG_x^2 + 1) - \rho \right\} \right] \quad (3.15) \end{aligned}$$

$$A = \lambda \frac{B^2}{2gd_{\text{не}}}$$

где

Выполнив соответствующие преобразования имеем:

$$A_1 \frac{A_2 G_n^3 + A_3 G_n^2 + A_4 G_n + A_6}{A_5 G_n + A_7} = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - P G_n)}}{2a_2}, \quad (3.16)$$

Из (3.1.13) следует, что:

$$b_0 + b_1 G_n + b_2 G_n^2 + b_3 G_n^3 + b_4 G_n^4 + b_5 G_n^5 + b_6 G_n^6 = 0, \quad (3.17)$$

Решая уравнение (4.1.14) можно вычислить Gn для различных $d_n, d_{\text{не}}, d_{\text{сп}}, \rho, \rho_m, C_{\text{об}}, h, H, \bar{\eta}, l_{\text{не}}$, что позволяет исследовать влияние этих факторов на параметры эрлифта и определить их оптимальные с экономической точки зрения значения.

Расход воздуха, приведенный к нормальным условиям, определяется по зависимости:

$$Q_e = G_n \cdot q, \quad (3.18)$$

где q – удельный расход воздуха.

$$q = \frac{H_\delta}{10 \bar{\eta}_{\text{из}} l_n \left(\frac{P_{\text{см}}}{P_a} + 1 \right)}, \quad (3.19)$$

где H_δ – динамическая высота подъема, м;

$\bar{\eta}_{\text{из}}$ – изотермический КПД эрлифта;

P_a – атмосферное давление, Па.

$$H_\delta = (H + h)(1 - \alpha). \quad (3.20)$$

3 РАЗРАБОТКА СТЕНДА

3.1 Принципы разработки стенда

В данной главе будет выбрана принципиальная конструктивная схема и дополнительная аппаратура, необходимая для нормальной работы эрлифта.

Условиями, в которых должен был функционировать газлифт, в нашем случае являются:

-Ограничения по габаритам установки, установка должна быть компактна и легкотранспортируема, с этой целью были ограничены габариты установки, высота установки не более 1,5 метра и поперечные габариты не более 1 метра;

-В конструкцию стенда должны быть заложены возможности к будущей модернизации и сама установка допускать разбор и ремонт, составных частей без приложения особых усилий или специального оборудования;

-Рабочей фазой установки будет являться водопроводная вода, которую необходимо поднимать из обсадной колонны, имитирующей скважину;

-Активная фаза-воздух с избыточным давлением, после прохождения через компрессор;

-Для проведения экспериментов и возможности анализа структур потока двухфазной смеси в подъемном трубопроводе считаю необходимым делать обсадную и подъемные трубы из промышленного оргстекла, которое является прозрачным, что не мешает наблюдениям исследователей;

-Все предыдущие факторы не должны отразиться на понижении рабочих параметров установки, для этого необходимо обеспечить диапазон погружения подъемника от 100 мм до 400(500) мм;

-Зададимся параметрами активной воздушной среды через давление получаемое после ресивера, диапазон давлений желательный для проведения экспериментов лежит в пределах от 1 до 6 бар;

3.2 Создание конструкции и подбор аппаратуры

Проводя анализ имеющихся конструктивных разновидностей эрлифтов, пришел к выводу о целесообразности использования в моей работе кольцевой схемы, называемой центральной. В пользу этой схемы являются ее габариты, но данная схема несколько сложнее в плане крепления и сборки, что усложняется необходимостью пропускания воздушного канала в внутри смеси подъемного.

В процессе создания появлялись проблемы с креплением конструкции обеспечением герметичности в месте сопряжения воздухоподающего канала с воздухоотделителем. Данное место необходимо уплотнить резиновым кольцом, диаметром равным диаметру воздухоподающего канала, также при необходимости промазать герметиком, с целью избавиться от больших утечек в данном месте и наличием фонтанчиков во время эксплуатации установки.

Так как установка работает с пульсацией и периодичностью, что в свою очередь вызывает некоторые колебания установки, рекомендуется установка на опорную плиту с рядом сбалансированных опор. С этой проблемой помогает справиться на практике достаточно тяжелая обсадная колонна с водоотводным каналом, мощности эрлифта не достаточно вывести данную конструкцию из равновесия.

Чтобы обеспечить равномерную работу эрлифта необходимо уменьшить гидравлическое сопротивление на входе в подъемную трубу, для этих целей отлично подойдет диффузор, наибольший диаметр которого в 3-5 раз превышает диаметр самого трубопровода. Для этих целей установлено устройство по форме напоминающее колокол, после установки, которого количество воздушных пробок в подъемной колонне уменьшилось, и работа эрлифта стала значительно менее пульсирующей.

Для обеспечения более спокойной и равномерной работы установки, с целью увеличения наглядности режимов течения в подъемном трубопроводе, также для улучшения эффективности процесса газирования жидкости, необходимо установка устройства дробящего воздух на выходе из воздушного трубопровода

до состояния воздуха в форме отдельных мелких пузырьков. В ходе поисков, ряда экспериментов, для решения данных проблем идеальным приспособлением является керамический воздушный фильтр с пропускной способностью 5 мкм. Так же были осуществлены попытки использования свободного выхода из воздушного канала, что приводило к появлению в подъемной колонне большого количества воздуха в свободном состоянии, оценить режим течения практически является в этом случае не возможным. Попытки установить сетчатый фильтр с величиной ячейки 50 мкм дали некоторое улучшение качества потока двухфазной жидкости, но на выходе из воздушного трубопровода наблюдалось большое «бурление» потока, что негативно сказывалось на работе эрлифта, во время испытаний такой конструкции периодичность подачи установки проявлялась очень явно, а объем закачиваемой жидкости являлся достаточно низким.

Для измерения основных фактических параметров работы на стенде установлен ряд измерительной аппаратуры, к которым относятся:

- Манометр на выходе из ресивера, для измерения давления подаваемого воздуха;
- Электронный расходомер фирмы Festo, для измерений расхода воздуха;
- На обсадную колонну нанесена шкала, для определения высоты погружения подъемной колонны эрлифта;
- Мерная емкость, используемая для объемного способа измерения давления.

Зададимся на данном этапе создания пробной установки двумя простыми и не требующими специализированного оборудования методиками измерения расхода воды прокачиваемой эрлифтом.

Первой, является объемный метод измерения расхода, на выходе из водоотводящего канала установлена мерная емкость, объемом 1 литр. После выхода на установившийся режим работы стенда, данная емкость наполняется на определенный уровень, при этом с помощью секундомера проводится замер временного отрезка необходимого на данное наполнение. При деление объема

собранный в мерной емкости жидкости на время получаем объемный расход эрлифта.

Второй способ замера, заключается в измерении за определённое время(оговорённое с преподавателем) измерение измерения уровня жидкости в обсадной колонне, измерив диаметр этой колонны, проводится подсчет объема перекаченной жидкости из колонны, далее делим объем на время, как и первом способе. Замеры необходимо проводить после достижения установившегося режима работы эрлифта, для этого необходимо наполнять эрлифт жидкостью выше указанного для замеров уровня на 100-200 мм, данная жидкость уйдет в момент выхода эрлифт на установившийся режим работы.

По итогам поиска подходящего для установки пневматического оборудования получилась следующая выборка элементов:

-в качестве источника сжатого воздуха подобран компрессорная установка включающая, маслозаполненный компрессор, электродвигатель, ресивер, пару датчиков давления, датчики температуры. Для моей установки взята компрессорная установка фирмы JUN AIR модель 6-15. Характеристика и внешний вид компрессора приведен в приложении А;

-управление показателями воздуха будет осуществляться с помощью блока подготовки воздуха (БПВ), включающего: фильтр-регулятор, маслораспылитель, манометр. В ходе поисков выбор остановлен на БПВ фирмы Festo с модельным обозначением FRC-1/8-DB-7-MINI (G1/8). Рабочие характеристики, которого приведены в приложении В;

-для регулирования расхода воздуха будет использоваться дроссель фирмы Festo, описание которого представлено в приложении Д;

-осуществление подачи воздуха и отключение ее, будет выполняться с помощью пневматической кнопки фирмы Festo, кнопка собирается из распределителя для монтажа на панели и кнопки серии PR-22 для распределителей;

-замер расхода воздуха будет выполняться электронным расходомером фирмы Festo из модельного ряда SFET с индикационным номером SFE3-F500-L-WQ6-2PB-K1. Характеристики расходомера приведены в приложении Б.

В приложении Ж приведены наиболее интересные и простые в создании примеры патентов эрлифтных установок, на их основе можно проводить дальнейшую модернизацию установки.

На рисунках 10 и 11 представлены система подачи воздуха и конструкция газлифта соответственно.

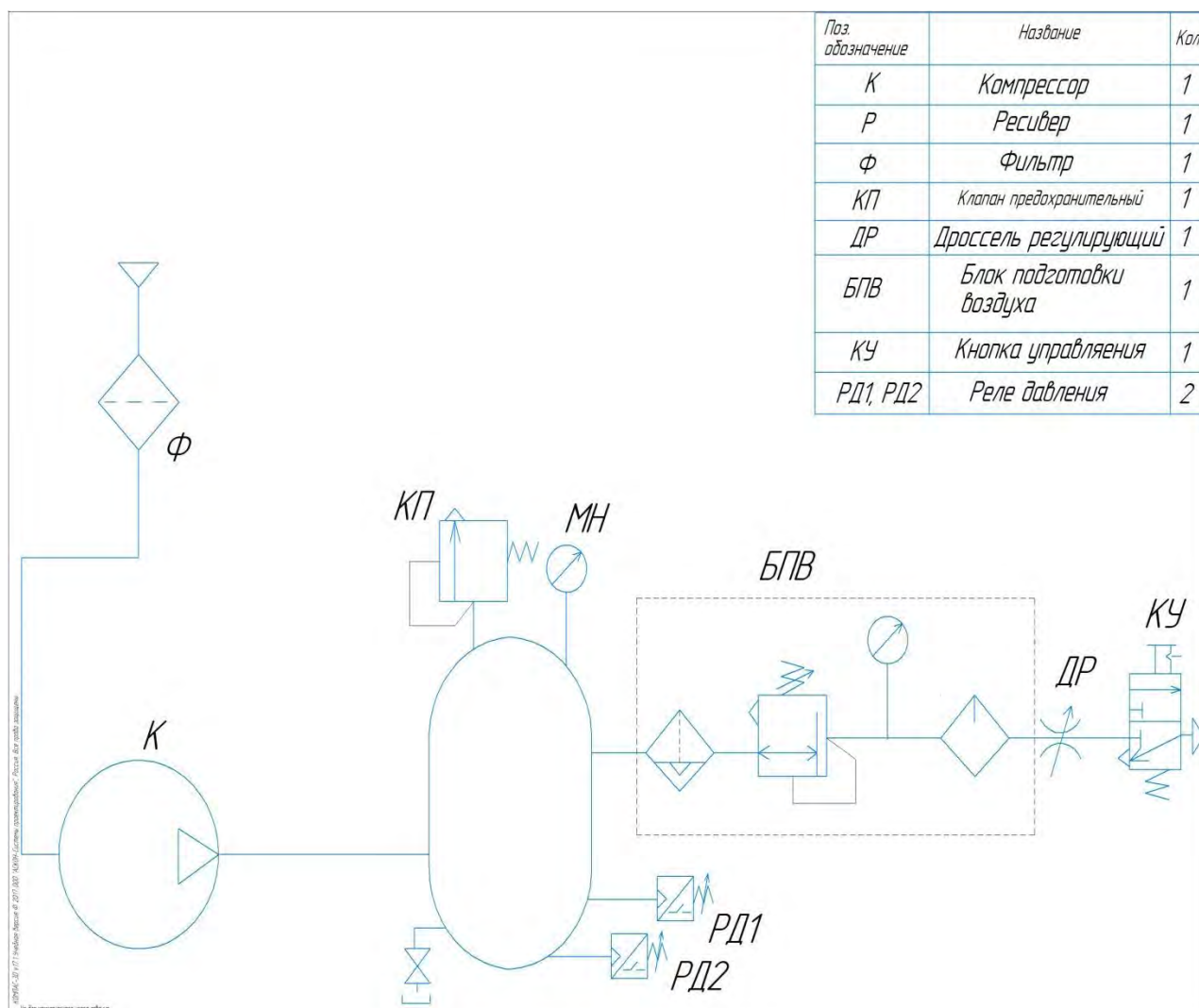


Рисунок -10 Схема системы подачи сжатого воздуха

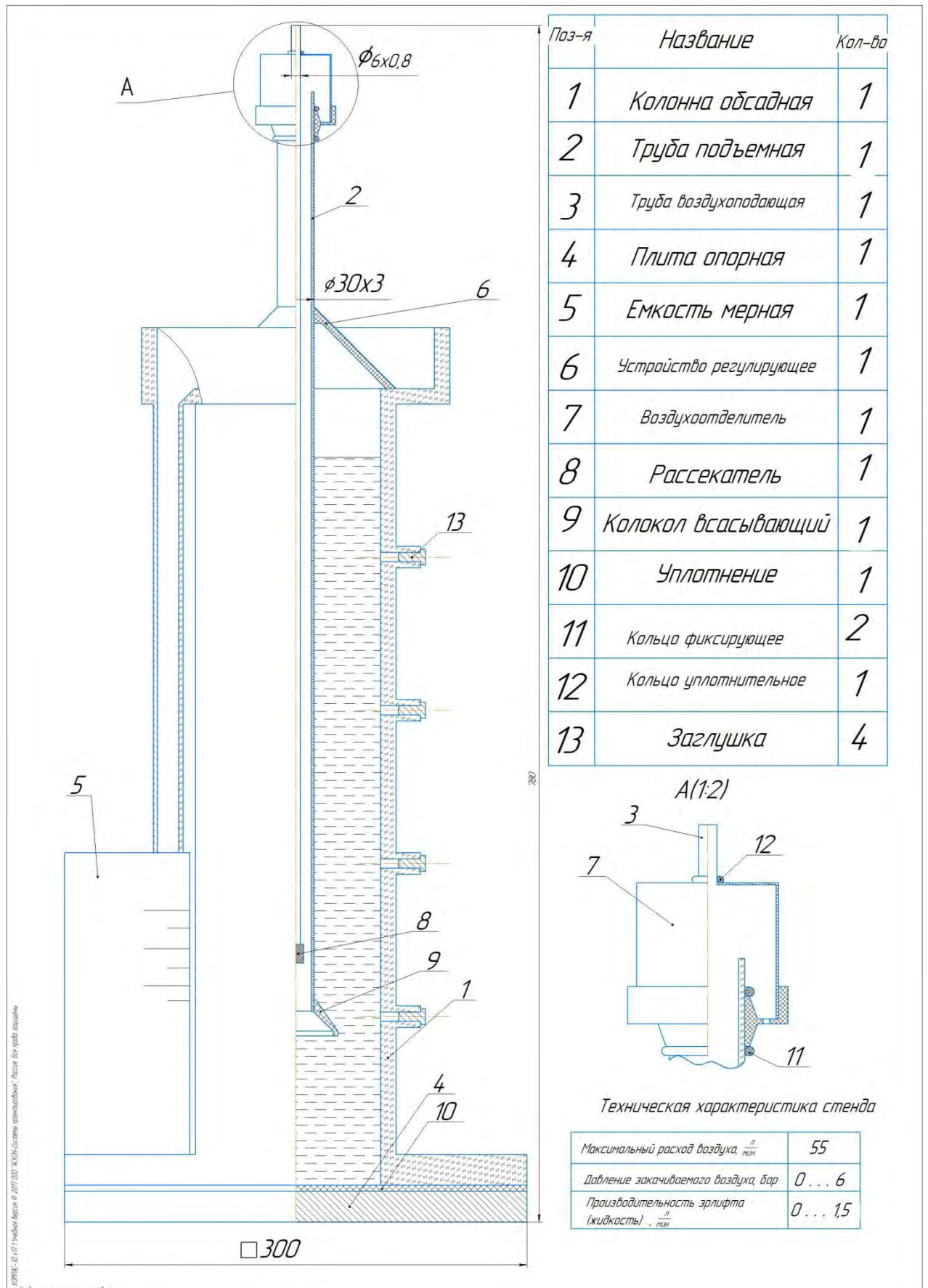


Рисунок -11 Конструкция газлифтной установки



Рисунок -12 Фото газлифтной установки

4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

4.1 Описание конструкции стенда

Лабораторный стенд предназначен для:

- наблюдения за работой газожидкостного (газлифтного) подъемника и определения структуры восходящего газожидкостного потока;
- исследования работы газожидкостного подъемника при постоянном погружении под динамический уровень, получения экспериментальных кривых лифтирования и определения параметров оптимального и максимального режимов работы подъемника;
- исследования влияния относительного погружения на работу газожидкостного подъемника, экспериментальное получение кривых лифтирования при различном погружении под динамический уровень и обоснования характера влияния относительного погружения на работу газожидкостного подъемника;

Лабораторный стенд представляет собой обсадную колонну заполненную рабочей жидкостью, в центре обсадной колонны трубу газлифтного подъемника, внутренний канал для подвода воздуха и канал для вывода жидкости в мерную емкость. В качестве рабочей жидкости в стенде используется техническая водопроводная вода. Основная колонна выполнена прозрачной и зафиксирована на опорной плите. Газожидкостный подъемник представляет собой прозрачную вертикальную трубу, вход жидкости в трубу осуществляется через специальный колокол, он же осуществляет функцию смесителя-«башмака». Воздушная труба внешним диаметром 8 мм предназначена для подвода воздуха к «башмаку», расположена воздухоподающая трубка в центре газожидкостного подъемника. В данном исполнении лабораторного стенда в качестве «башмака» используется фильтр с ячейкой 5 мкм. Сжатый воздух проходит сквозь фильтр и диспергируется в области сужения колокола в жидкости в виде пузырьков. Таким образом, возникает газожидкостная смесь.

В целях питания лабораторного стенда воздухом с избыточным давлением, используется система подачи воздуха (далее СПВ) представленный на рис. 10. В состав СПВ входят: компрессор, ресивер, датчики давления, клапаны давления, расходомер, блок подготовки воздуха.

Пуск установки для ее нормальной работы необходимо осуществлять постепенным увеличением расхода воздуха, для этого выполняется постепенное открытие дросселя до необходимого значения расхода на расходомере. Обсадную колонну установки заполнять водой на 200-300 мл больше указанного преподавателем значения, для выхода на установившейся режим на нужном уровне жидкости.

4.2 Технология работы на лабораторном стенде

Технология работы на лабораторном стенде состоит из следующих этапов:

1. Подготовка стенда к проведению эксперимента.
2. Проведение эксперимента.
3. Завершение эксперимента.

Первый этап. Подготовка стенда к проведению эксперимента заключается в следующем:

1. Заполнить газлифт водой.
2. Необходимо подключить газлифт к системе СПВ и к электронной измерительной аппаратуре.
3. Установка мерной емкости на выход газлифта.
4. Включение пневматического питания.
5. Включение электропитания.

Второй этап. Проведение эксперимента производится в соответствии с описанием выбранной лабораторной работы. Снятие параметров работы стенда осуществляется с внешних измерительных устройств.

Третий этап. Завершение эксперимента заключается в следующем:

1. Выключение электропитания.
2. Выключение пневматического питания.
3. Слить воду из полости газлифта.

Примечание: Под системой электропитания понимается розетка для подключения компрессорной установки, и панель, подключенная к сети 220В, в которую встроены электронный расходомер и дополнительные датчики давления.

Перед подключением установки и запуском получить разрешение у преподавателя в целях предотвращения несчастных случаев.

4.3 Лабораторная работа №1 «Определение структуры газожидкостного потока»

Цель работы – научиться визуально, различать основные структуры газожидкостного потока, а также исследовать взаимосвязь между параметрами, характеризующими газожидкостный поток.

Для каждой структуры газожидкостного потока необходимо рассчитать расходную объемную концентрация газа β .

Порядок проведения работы.

1) Провести мероприятия по подключению эрлифта к аппаратуре и мероприятия, изложенные в первом этапе подготовки.

2) Согласовать с преподавателем значение уровня жидкости в обсадной колонне (h) (рекомендованное значение, полученное по итогам проведенных испытаний 300 мм), значение записать в табл. 1.

3) Величину диаметра подъемника (d) измерить, используя штангенциркулем и записать значение в табл. 1.

4) Установить минимальное давление закачиваемого газа (2 бар, по рекомендации преподавателя можно увеличить значение до 3 бар), значение записать в табл. 1.

5) Дросселем ДР установить минимальный расход воздуха, при котором происходит подъем ГЖС до бокового отвода, дождаться установившегося режима. В табл. 1 занести необходимые данные первого режима (эмульсионной структуры).

6) Дросселем ДР увеличить расход воздуха до образования переходной зоны от эмульсионной к снарядной структуре (при необходимости можно увеличить давление закачиваемого газа до 3 бар). В табл. 1 занести необходимые данные.

7) Дросселем ДР увеличить расход воздуха до образования явной снарядной структуры. В табл. 1 занести необходимые данные.

8) Дросселем ДР увеличить расход воздуха до образования переходной зоны от снарядной к стержневой структуре (при необходимости можно увеличить высоту погружения до 400 мм). В табл. 1 занести необходимые данные.

9) Дросселем ДР увеличить расход воздуха до максимальных значений 55 л/мин, при появлении воздушных пробок отметить это в отчете (при необходимости можно увеличить давление закачиваемого газа до 3,5 бар, обратиться за уточнениями необходимости к преподавателю). В табл. 1 занести необходимые данные.

10) Выполнить расчеты для определения объемного расхода воздуха и жидкости, объемное расходное газосодержание. Занести данные в табл. 1.

$$\beta_p = \frac{Q_{\Gamma}}{Q_{\Gamma} + Q_{\text{ж}}}$$

11) Сравнить полученные результаты и сделать выводы. Отчет оформляется на листах А4, должен содержать такие пункты как-цель, ход работы, анализ и описание увиденных режимов течения(эскизы режимов течения), таблицу полученных значений и пример расчета параметров.

4.4 Лабораторная работа №2 «Исследование работы газожидкостного подъемника»

Цель работы – экспериментально получить характеристику газожидкостного подъемника (кривую лифтирования) и определить параметры оптимального и максимального режимов его работы.

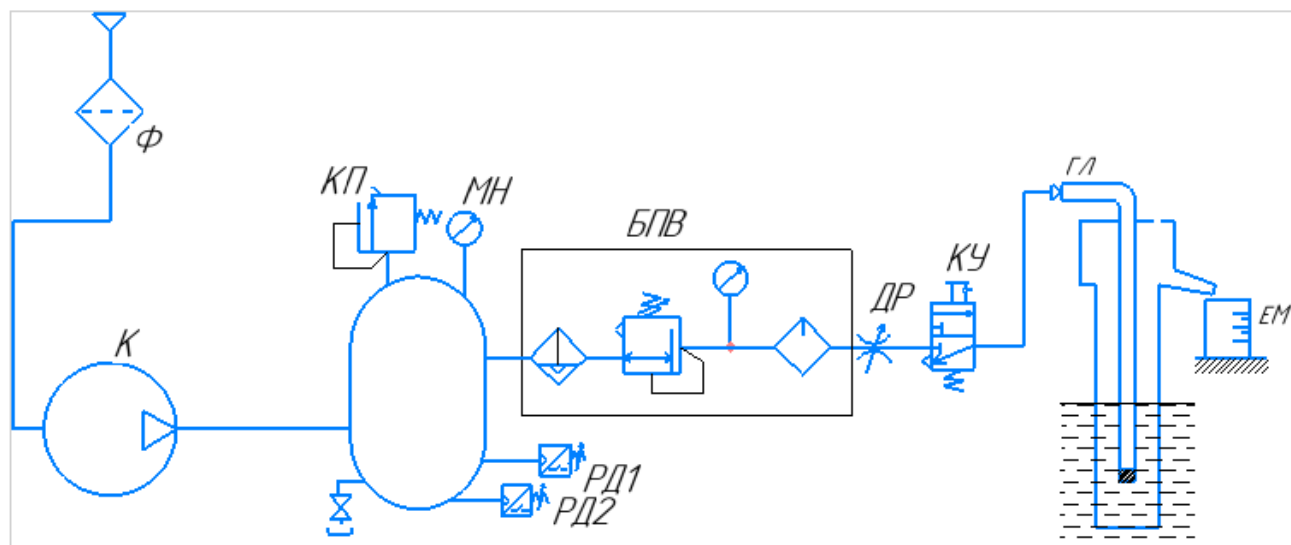


Рисунок -13 Схема учебного стенда

Порядок проведения работы.

- 1) Подготовить форму табл. 2.
- 2) Согласовать с преподавателем значение уровня жидкости в обсадной колонне (h) (от 200 до 350 мм), значение записать в табл. 2.
- 3) С помощью штангенциркуля измерить диаметр газожидкостного подъемника, величину диаметра подъемника (d) записать в табл. 2.
- 4) Согласовать с преподавателем давление подаваемого воздуха (от 1,5 до 4 бар), записать в табл. 2.
- 5) Произвести подготовительные работы (первый этап).
- 6) Дросселем установить минимальный расход воздуха, при котором происходит подъем ГЖС до бокового отвода, дождаться установившегося режима. В табл. 2 занести необходимые данные.
- 7) С помощью дросселя V01 установить несколько установившихся режимов работы газожидкостного подъемника (8-10 режимов). В табл. 2 занести необходимые данные.

8) Выполнить расчеты для определения объемного расхода воздуха и жидкости, удельного расхода газа и КПД газожидкостного подъемника. Данные занести в табл. 2.

9) На основе результатов эксперимента (табл. 2) построить зависимость

$Q_{ж}=f(Q_{г})$, характеризующую подъемник.

10) Графическим способом на основе характеристики подъемника $Q_{ж}=f(Q_{г})$ определить оптимальный и максимальный режим его работы.

11) Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Таблица 1

Таблица результатов экспериментов лабораторной работы № 1

Величина погружения подъемника $h=$ ___ мм

Диаметр трубки для подъема жидкости $d=$ ___ мм

Номер опыта	Давление подаваемого газа Р, бар	Объемный расход воздуха $Q_{г}$, л/мин	Объем заполнения мерной емкости V, мл	Время заполнения мерной емкости t, с	Объемный расход воды $Q_{в}$, л/мин	Объемное расходное газосодержание β	Структура потока
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Таблица результатов экспериментов лабораторной работы № 2

Диаметр трубки для подъема жидкости $d = \text{---}$ ммДавление закачиваемого воздуха $P_{\text{воз}} = \text{---}$ бар

Номер опыта	Начальная величина погружения подъемника h , мм	Конечная величина погружения подъемника	Объемный расход воздуха Q_r , л/мин	Объем заполнения мерной емкости V , мл	Время заполнения мерной емкости t , с	Объемный расход воды Q_v , л/мин	Объемное расходное газосодержание β	Объемный расход воздуха Q_r , м ³ /с	Объемный расход воды Q_v , м ³ /с
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И АНАЛИЗ

5.1 Проведение эксперимента

По плану проведения лабораторных работ были осуществлены ряд экспериментов, для построения кривой лифтования эрлифтной установки. Для определения расхода жидкости воспользовались объемным способом измерения. Наполнением мерной емкости на определенный уровень и замером отрезка времени для этого наполнения. В это способе есть недостаток связанный с особенностью конструкции, в данных эксперимента появляется погрешность, связанная с тем, что часть жидкости остается в каналах и полостях установки, вследствие чего газлифт выдает не действительные значения расхода жидкости.

В ходе проведения эксперимента визуально были установлены границы по расходу воздуха для различных видов течения двухфазной смеси в вертикальной трубе эрлифта. Наиболее оптимальные условия проведения эксперимента оказались давление равное 3 бар и высота погружения эрлифта равная 300 мм. При данных условия проведения эксперимента получены следующие данные:

При $Q \approx 0$, в трубе газлифта наблюдаются крупные пузырьки воздуха, движущееся по всей площади трубы;

При $Q = 10 \dots 35$, в трубе газлифта наблюдаются классическое эмульсионное течение, визуально видно большое бурление смеси;

При $Q = 40 \dots 50$, большое количество пузырьков воздуха в центре трубки, иногда появляются снаряды воздуха, также наблюдается спираль воздуха вокруг воздухоподающего канала;

При $Q > 50$, наблюдается появление воздушных пробок, наибольшее скопление воздуха вокруг центрального воздушного канала.

В данной конструкции эрлифта после испытаний были замечены ряд проблем для проведения данного исследования, к ним относятся:

Небольшая глубина обсадной колонны не дает возможность на большом диапазоне высот наблюдать структуру потока, этот диапазон ограничен с верху повышенным бурление жидкости и газа при контакте с атмосферой, нижняя

граница обусловлена выходом части воздуха в обсадную колонну где газ интенсивно смешивается с жидкостью и создает не действительную структуру потока.

Полное отсутствие расхода воды в правой части характеристики получить не возможно из-за недостаточного расхода воздуха, не появляется больших воздушных пробок в трубе. Это связано с ошибками в подборе измерительного и регулирующего оборудования. Является одной из возможностей к улучшению стенда.

Наблюдать структуру потока для достоверны данных необходимо в ближе к центру между полным погружением и свободной поверхностью жидкости.

Далее приведены таблицы экспериментальных значений и графики характеристики эрлифта, полученные после интерполяции полученных данных.

Также проверили эффективность рассекателя с высокой дробящей способностью. Были проведены запуски установки с прямым выходом воздуха из трубки в подъемную колонну без специального устройства, с рассекателем, имеющим крупноячеистую структуру и рассекатель в виде воздушного фильтром с ячейкой 5 мкм. Самую низкую эффективность показал прямой выход воздуха, происходит слишком бурное смешивание фаз, большое количество крупных пузырей, что мешает рассмотреть структуру потока. С такой конструкцией сложно добиться явного пузырькового течения и получаем низкие значения расхода жидкости.

Течение воздуха через рассекатель с крупноячеистой структурой обеспечивает большие значения по расходы жидкости, по сравнение с предыдущим способом. В подъемной колонне также наблюдаются крупные пузыри воздуха и плохо различим режим течения.

Третий способ, с рассекателем, имеющим маленькое проходное сечение, позволяет гораздо лучше рассмотреть режим двухфазного течения смеси в подъемной колонне. Показания расхода жидкости увеличиваются по сравнению с

предыдущими способами. Также понижается пульсация смеси в подъемной колонне.

После таких исследования и анализа увиденного я пришел к выводу, что третий способ вывода воздуха в подъемную колонну является более интенсивным, хоть и более затратным. Для нашего лабораторного стенда имеет смысл, устанавливать такого класса фильтр для получения достоверных данных по режим течения. Это позволит получить хороший расход жидкости на большем диапазоне расходов воздуха и позже получить воздушные пробки в колонне подъемника..

Таблица результатов экспериментов №1

Диаметр трубки для подъема жидкости $d = \text{---}$ ммДавление закачиваемого воздуха $P_{\text{воз}} = \text{---}$ бар

Номер опыта	Начальная величина погружения подъемника h , мм	Конечная величина погружения подъемника h , мм	Объемный расход воздуха Q_r , л/мин	Объем заполнения мерной емкости V , мл	Время заполнения мерной емкости t , с	Объемный расход воды Q_b , л/мин	Объемное расходное газосодержание β	Объемный расход воздуха Q_r , м ³ /час	Объемный расход воды Q_b , м ³ /час
1	200	200	0,5	-	-	0	-	0,03	0
2	200	195	1	200	139,25	0,093	0,915	0,06	0,0056
3	200	190	5	500	134,8	0,222	0,957	0,3	0,0132
4	200	190	10	500	99,34	0,3	0,97	0,6	0,018
5	200	180	15	500	94,3	0,318	0,979	0,9	0,019
6	200	180	20	500	90	0,33	0,98	1,2	0,0198
7	200	180	25	500	93,3	0,32	0,987	1,5	0,0192
8	200	180	30	500	85,2	0,35	0,988	1,8	0,021
9	200	175	35	500	84,7	0,354	0,99	2,1	0,0212
10	200	200	40	-	-	0	1,0	2,4	0

Таблица результатов экспериментов №2

Диаметр трубки для подъема жидкости $d = \text{--- мм}$ Давление закачиваемого воздуха $P_{\text{воз}} = \text{--- бар}$

Номер опыта	Начальная величина погружения подъемника $h, \text{мм}$	Конечная величина погружения подъемника $h, \text{мм}$	Объемный расход воздуха $Q_r, \text{л/мин}$	Объем заполнения мерной емкости $V, \text{мл}$	Время заполнения мерной емкости $t, \text{с}$	Объемный расход воды $Q_v, \text{л/мин}$	Объемное расходное газосодержание β	Объемный расход воздуха $Q_r, \text{м}^3/\text{час}$	Объемный расход воды $Q_v, \text{м}^3/\text{час}$
1	300	300	0,4	400	-	0	1	0,024	0
2	300	260	0,5	500	150,81	0,198	0,715	0,03	0,0118
3	300	2230	5	500	67,46	0,444	0,918	0,3	0,0266
4	300	220	10	500	51,35	0,584	0,944	0,6	0,035
5	300	240	15	500	41,44	0,723	0,954	0,9	0,043
6	300	230	20	500	36,35	0,825	0,96	1,2	0,0495
7	300	240	25	500	35,74	0,839	0,967	1,5	0,05
8	300	250	30	500	38,7	0,775	0,974	1,8	0,0465
9	300	230	35	500	43,01	0,697	0,98	2,1	0,042
10	300	240	40	500	41,93	0,715	0,982	2,4	0,043
11	300	240	45	500	51,03	0,587	0,987	2,7	0,035
12	300	240	50	500	59,61	0,50	0,99	3,0	0,03
13	300	230	55	500	62,7	0,47	0,991	3,3	0,0282

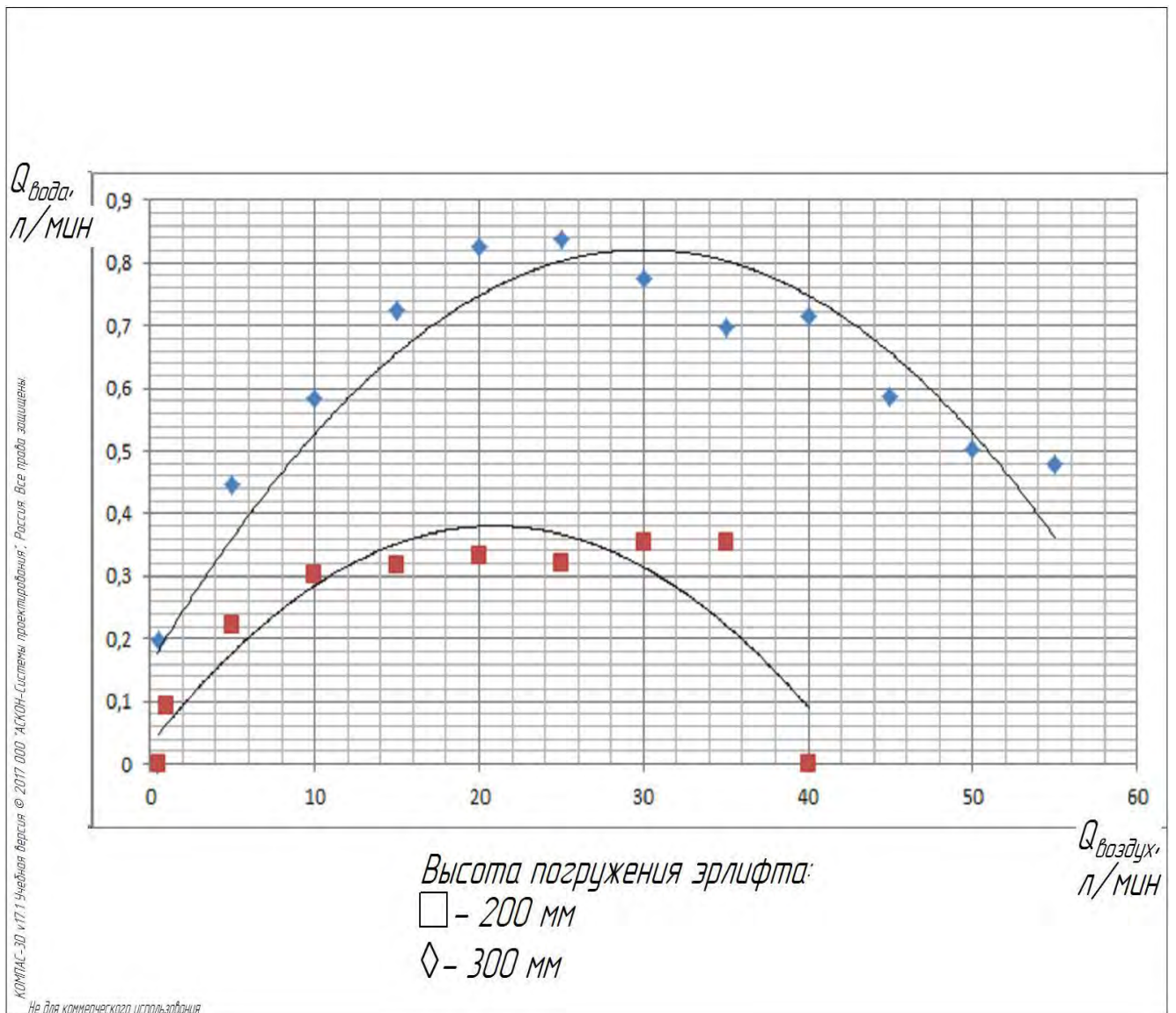


Рисунок -14 Экспериментальная характеристика, полученная при давлении воздуха 2 бар

Таблица результатов экспериментов №3

Диаметр трубки для подъема жидкости $d=$ ___ ммДавление закачиваемого воздуха $P_{\text{воз}}=$ ___ бар

Номер опыта	Начальная величина погружения подъемника h , мм	Конечная величина погружения подъемника h , мм	Объемный расход воздуха Q_r , л/мин	Объем заполнения мерной емкости V , мл	Время заполнения мерной емкости t , с	Объемный расход воды Q_b , л/мин	Объемное расходное газосодержание β	Объемный расход воздуха Q_r , м ³ /с	Объемный расход воды Q_b , м ³ /с
1	200	180	1,1	250	-	0	1	0,066	0
2	200	180	5	250	76,23	0,196	0,96	0,3	0,0118
3	200	170	10	250	68,63	0,218	0,978	0,6	0,013
4	200	170	15	250	84,37	0,177	0,988	0,9	0,010
5	200	170	20	250	74,13	0,202	0,99	1,2	0,012
6	200	160	25	250	52,37	0,286	0,988	1,5	0,0172
7	200	160	30	250	49,03	0,30	0,99	1,8	0,018
8	200	150	35	250	51,81	0,289	0,991	2,1	0,0174
9	200	140	40	250	43,88	0,34	0,991	2,4	0,0204
10	200	140	45	250	65,84	0,227	0,995	2,7	0,0136
11	200	130	50	250	51,71	0,29	0,994	3,0	0,0174

Таблица результатов экспериментов №4

Диаметр трубки для подъема жидкости $d = \text{--- мм}$ Давление закачиваемого воздуха $P_{\text{воз}} = \text{--- бар}$

Номер опыта	Начальная величина погружения подъемника $h, \text{мм}$	Конечная величина погружения подъемника $h, \text{мм}$	Объемный расход воздуха $Q_r, \text{л/мин}$	Объем заполнения мерной емкости $V, \text{мл}$	Время заполнения мерной емкости $t, \text{с}$	Объемный расход воды $Q_b, \text{л/мин}$	Объемное расходное газосодержание β	Объемный расход воздуха $Q_r, \text{м}^3/\text{с}$	Объемный расход воды $Q_b, \text{м}^3/\text{с}$
1	300	270	0,9	250	-	0	1	0,054	0
2	300	270	5	250	16,6	0,93	0,84	0,3	0,056
3	300	260	10	250	16	0,937 5	0,914	0,6	0,056
4	300	250	15	250	13,49	1,11	0,931	0,9	0,066
5	300	260	20	250	16,4	0,914	0,956	1,2	0,0548
6	300	250	25	250	14,87	1,01	0,961	1,5	0,06
7	300	240	30	250	18,26	0,82	0,973	1,8	0,0492
8	300	230	35	250	17,54	0,855	0,976	2,1	0,0513
9	300	240	40	250	16,71	0,897	0,978	2,4	0,0538
10	300	240	45	250	27,95	0,537	0,988	2,7	0,032
11	300	240	50	250	26,19	0,573	0,989	3,0	0,0344
12	300	230	55	250	28	0,535	0,99	3,3	0,0321

Таблица результатов экспериментов №5

Диаметр трубки для подъема жидкости $d=$ ___ ммДавление закачиваемого воздуха $P_{\text{воз}}=$ ___ бар

Номер опыта	Начальная величина погружения подъемника h , мм	Конечная величина погружения подъемника h , мм	Объемный расход воздуха Q_r , л/мин	Объем заполнения мерной емкости V , мл	Время заполнения мерной емкости t , с	Объемный расход воды Q_v , л/мин	Объемное расходное газосодержание β	Объемный расход воздуха Q_r , м ³ /с	Объемный расход воды Q_v , м ³ /с
1	350	330	0,8	250	-	0	1	0,048	0
2	350	330	5	250	18,45	0,813	0,86	0,3	0,488
3	350	320	10	250	17,66	0,849	0,922	0,6	0,050
4	350	320	15	250	14,78	1,015	0,937	0,9	0,060
5	350	320	20	250	14,73	1,018	0,952	1,2	0,061
6	350	310	25	250	15,35	0,977	0,96	1,5	0,058
7	350	310	30	250	16,02	0,936	0,969	1,8	0,056
8	350	310	35	250	15,45	0,97	0,898	2,1	0,058
9	350	300	40	250	16,17	0,927	0,977	2,4	0,056
10	350	300	45	250	15,84	0,947	0,979	2,7	0,057
11	350	300	50	250	18,39	0,815	0,984	3,0	0,049

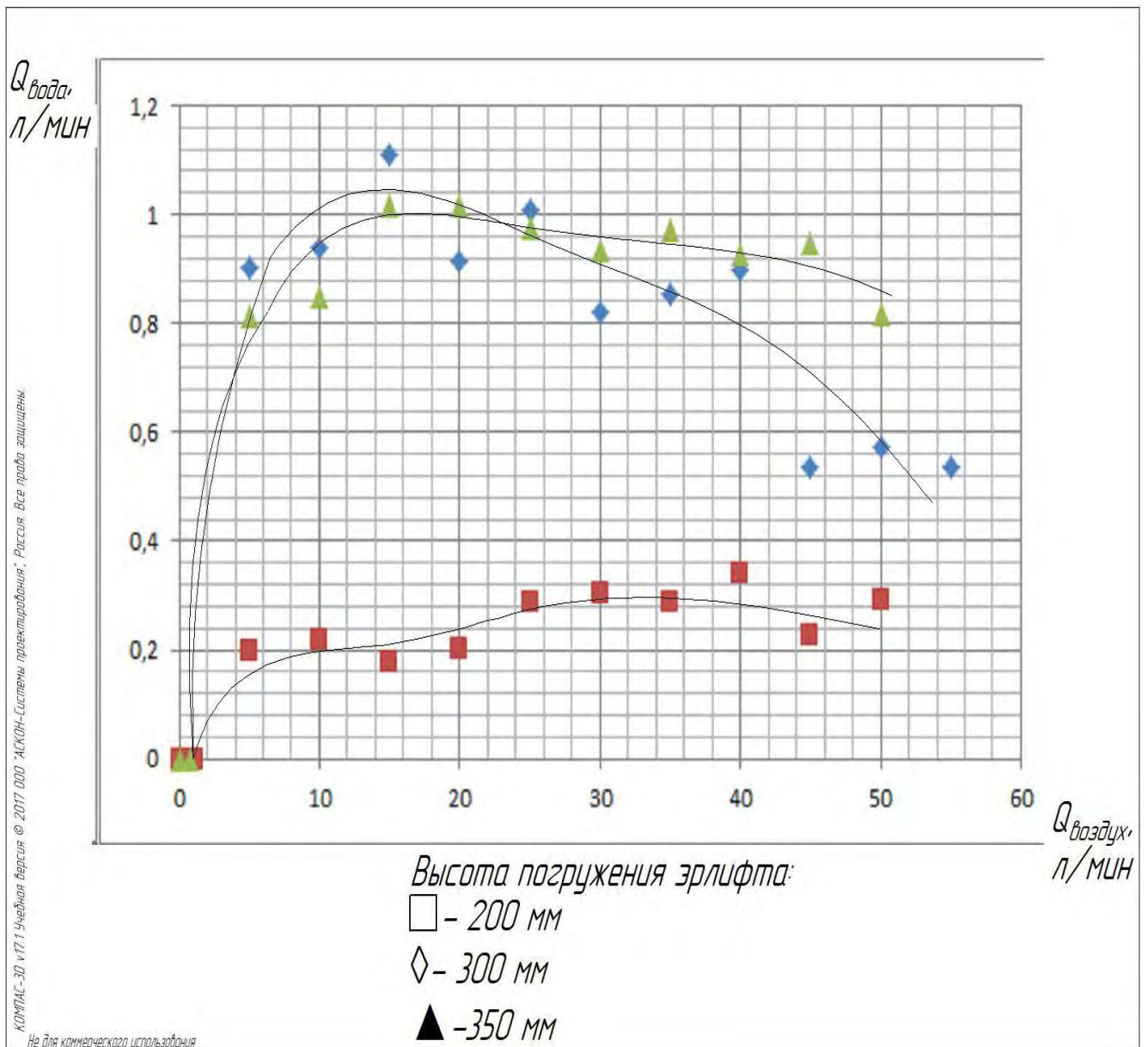


Рисунок -15 Экспериментальная характеристика, полученная при давлении воздуха 3 бар

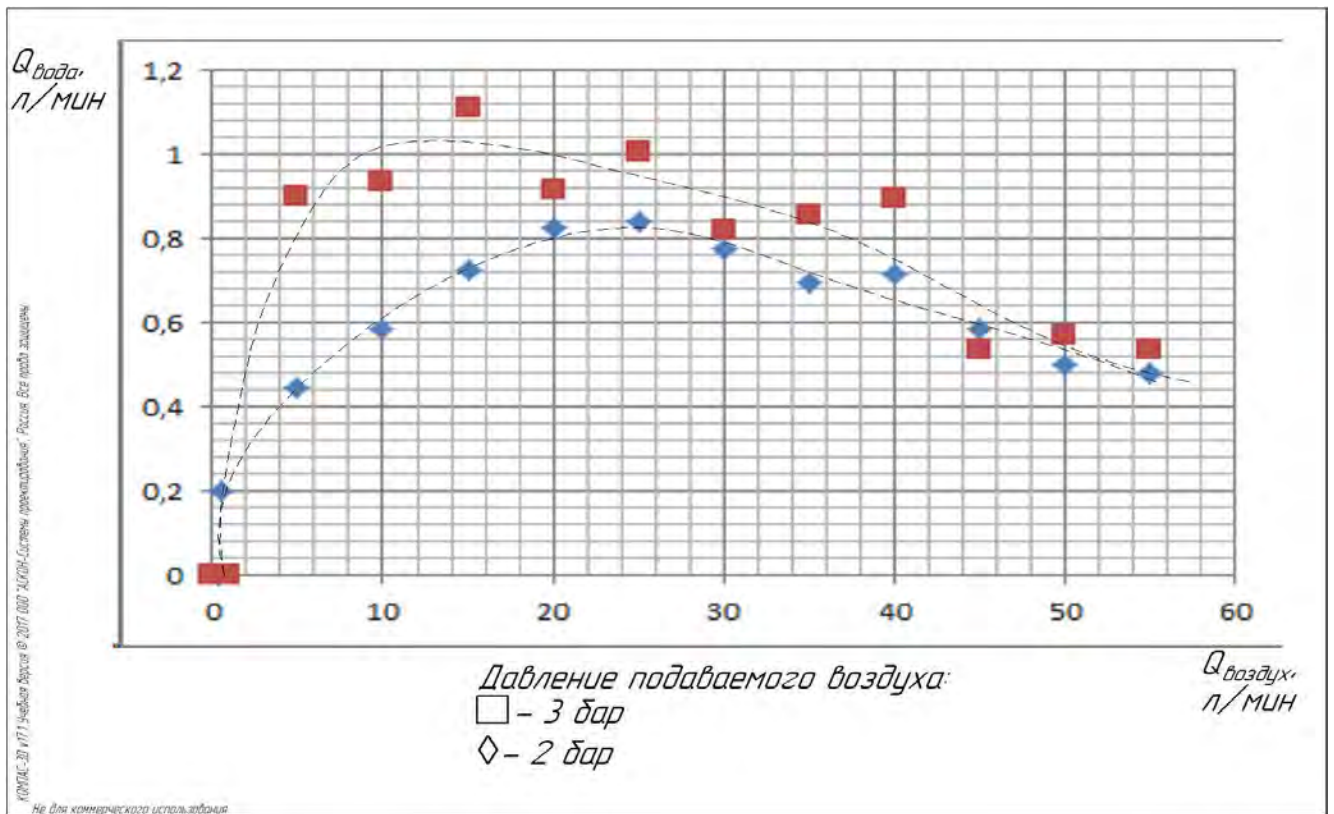


Рисунок -16 Экспериментальные характеристики, полученная при высоте погружения подъемника 300 мм

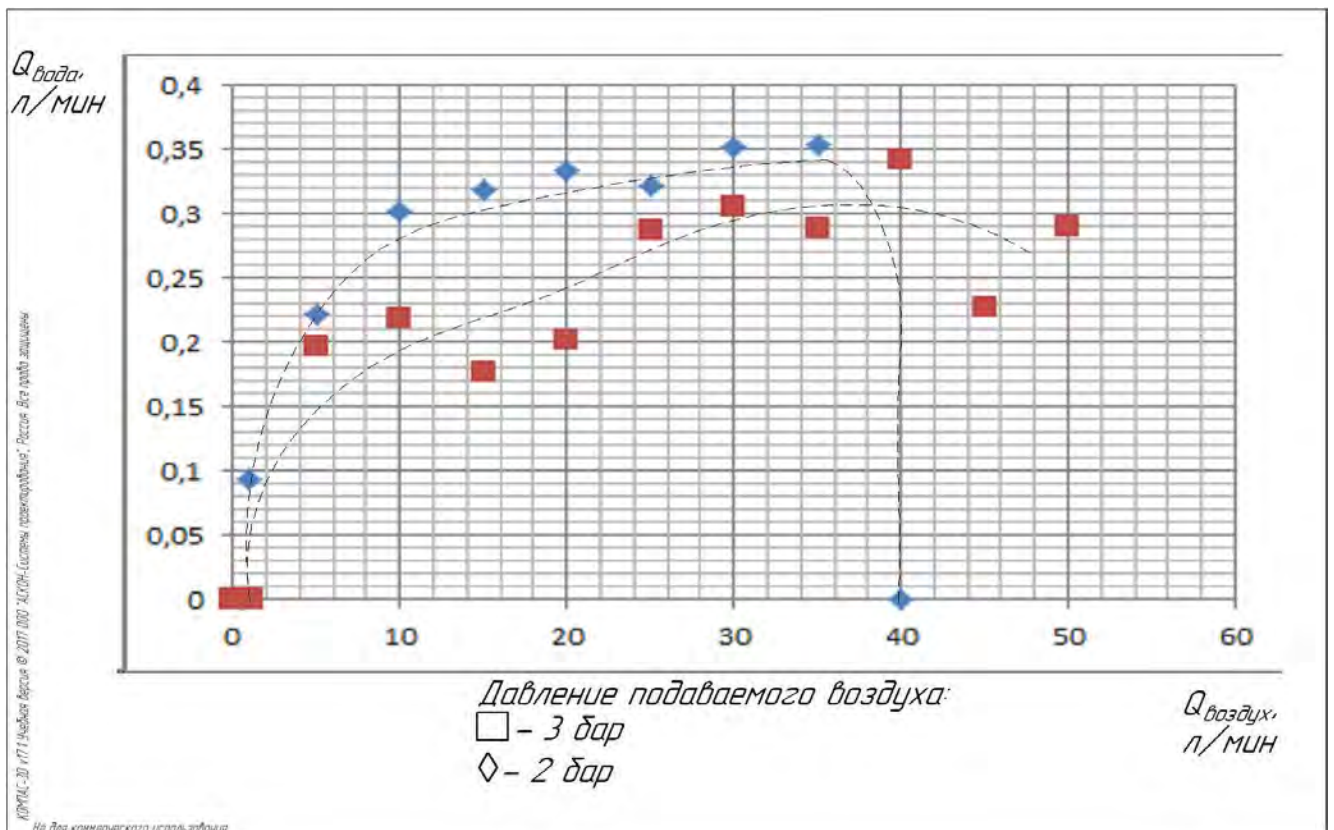


Рисунок -17 Экспериментальные характеристики, полученная при высоте погружения подъемника 200 мм

5.2 Обработка полученных данных

Данные всех экспериментов занесены в таблицы, по ним построены графики экспериментальных характеристик эрлифтов.

По данным построенные характеристики, на основании, которых с помощью компьютерных технологий проведена интерполяция и получены кривые лифтования для нескольких начальных давлений семейства кривых по высотам погружения. Каждая из характеристик лифтования является комбинацией из нескольких таких характеристик. Это проявление того факта что наши исследования происходили при не постоянном уровне жидкости в обсадной колонне. При изменении уровня жидкости на некоторый уровень точка, полученная экспериментальным путем перескакивает с одной характеристики на другую. Так как изменение статического уровня в ходе эксперимента не достигает больших значений, т.е. не превышает 100 мм, можно при первичном анализе считать данные характеристики приближенными характеристиками лифтования установки. С помощью данных характеристик проводить дальнейшие модернизации стенда и определения возможностей эрлифтов студентам в процессе выполнения лабораторных работ. Для получения реальных характеристик необходимо осуществить подключения дополнительного бака, с целью подпитки уровня жидкости в обсадной колонне. Для этих целей предусмотрены в обсадной колонне штуцера, на четырех различных уровнях для подключения системы подпитки. Данная задача является следующей для решения в процессе проектировки стенда.

По полученным характеристикам проводим анализ работы установки:

В ходе работы были проведены два способа измерения объёмного расхода воды через эрлифт, первый классический объёмный с заполнением на определенный уровень емкости, и замер отрезка времени необходимого на это заполнение; второй - замер изменения уровня жидкости в обсадной колонне, по разницы кривых и численных значений видно, что до мерной емкости часть жидкости не доходит, это происходит из-за не удачного профиля в пространстве,

предназначенном для сбора жидкости. Данный способ имеет ряд затруднений, которые ведут к повышению погрешности. Рекомендуется в дальнейшем проводить испытания, используя объемный метод измерений.

Экспериментальные характеристики по своей форме имеют небольшие отличия от теоретических характеристик, приведенных в первой главе. Нулевая точка характеристики, определяющая минимальных расход воздуха для начала расхода жидкости у всех характеристик практически приходят в одну точку на графике, что не противоречит теоретическим данным, полученным различными путями другими исследователями.

Как видно по графиками представленным на рис. 14 и 15 с увеличением высоты погружения эрлифта, характеристика, примерно сохраняя форму поднимается в верх, т.е. расход выдаваемый эрлифтом растет. На рис. 15 сравнивая характеристик для высот погружения 300 мм и 350 мм, видим переплетение графиков, для анализа данного эффекта необходимо провести дополнительные опыты, в том числе и с сохранением постоянного уровня в шахте газлифта, на данный момент точную оценку дать сложно. Можно предположить что это произошло из-за более быстрого падения уровня жидкости в шахте в период не установившейся работы эрлифта при больше высоты погружения, следовательно, мы перескочили через несколько характеристик. Правая часть характеристики полученной при начальной высоте погружения 350 мм, является в действительности характеристикой с значительно меньше высотой погружения.

Графики представленные на рис. 16 и 17 отражают изменение характеристики при одинаковых высотах погружения и различных давления закачиваемого воздуха. Характеристики ведут себя не однозначно, но так как работа при высоте погружения 200 мм является не оптимальной для нашего стенда, анализ провожу по рис. 16. По данному графику видно что с увеличением давления закачиваемого воздуха, характеристика несколько повышается по оси у, следовательно расход эрлифта увеличивается. Но данное повышение расхода не значительно и хорошо выражено только в зоне высоких КПД.

В качестве примера определим зоны оптимальной работы для характеристики при давлении воздуха на входе 3 бара и высоту погружения 300 мм. Определяем максимальную подачу, находим значение равное 0.85 от максимальной подачи, проводим прямую до двух точек пересечения с характеристикой. От точек пересечения проводим вертикальные прямые до оси и определяем наилучший диапазон расхода воздуха для работы установки при данных условиях.

Измерения в экспериментах приводились с помощью, электронного расходомера, шкалы на обсадной колонне, мерной емкости с точной шкалой, электронным секундомером. Как видно из приложения Б погрешность расходомера не превышает 0,3%, шкала на обсадной колонне позволяет измерять до 5 мм, точность мерной емкости достигает 10 мл, погрешность электронного секундомера не превышает и 0.1%. Исходя из данных выкладок можно сделать вывод что точность проводимых опытов очень высока. Наибольшую погрешность измерений уровня погружений в обсадной колонне получаем при наименьшей высоте погружения (200 мм), при данном значении погрешность составляет 2,5%. Мерная емкость даст наибольшую погрешность при наименьшем объеме наполнения (250 мл), наибольшая погрешность равняется 4%.

5.3 Планируемая модернизация

Лабораторный стенд должен давать возможность проводить эксперименты для оценки режимов двухфазного течения, проверять достоинства и недостатки различных конструктивных схем эрлифтов и снимать различные характеристики.

Для этой цели необходимо модернизировать установку, к ряду таких модернизаций относятся:

- с помощью штуцеров на боковой поверхности обсадной колонны можно реализовать клапанную систему регулирования работой газлифта при его запуске. Что может значительно повысить его эффективность;

- возможность подвода воздуха различными способами, с этой целью в обсадной колонне имеются дополнительные отверстия. С помощью этих отверстий можно подвести воздух непосредственно к колоколу, в который будет вмонтирован башмак, таким образом обеспечим схему Ю.Поле. Подведя воздух через верхний штуцер, появляется возможность подавать воздух непосредственно в обсадную колонну, что является реализация схемы Саундера;

- через один из штуцеров реализуется подвод подпиточной жидкости из дополнительного бака, предназначенного для поддержания постоянного уровня в обсадной колонне. Благодаря чему можно снять реальные характеристики лифтования эрлифта;

- для более точного изучения режимов двухфазного течения рекомендуется удлинить обсадную колонну, для обеспечения большей высоты погружения и возможности на большем диапазоне высот наблюдать структуру потока;

- для проверки эффективности различных систем питания эрлифта, возможно в дальнейшем на уровне башмака осуществить с присоединение устройства создающего понижение давления, проще говоря, небольшой недостаток по давлению относительно атмосферного. Данное усовершенствование позволит проверить вакуумное питание газлифта и питание по совмещенной схеме;

- осуществить подбор измерительного оборудования работающего в большем диапазоне или поиск новых методов измерения расхода воздуха и других показателей работы установки.

Заключение

1) Были изучены основы двухфазного течения в трубопроводах. Рассмотрены конструкции и особенности эрлифтных установок.

2) По изученной теории проведен анализ и выбраны наиболее выгодные конструктивные решения для создания лабораторного стенда. В конструкцию заложены устройства и приспособления позволяющие изучать режимы течения двухфазного потока в вертикальном трубопроводе. Подобраны аппаратура для системы пневматического питания газлифтной установки. Проведена сборка стенда и предварительная обкатка.

3) На готовом к эксплуатации стенде проведен ряд экспериментов позволивших получить характеристики лифтования эрлифта, которые имеют форму схожую с характеристиками полученными ранее другими исследователями. Определена точка минимального расхода воздуха необходимого для появления расхода воды. По графику характеристики найдена рабочая зона установки для одного из режимов, на которых проходили испытания. При анализе полученных данных выяснились ошибки, возникшие из-за не совершенства спроектированной установки. Назначены будущие пути улучшений и модернизаций стенда, с целью получения достоверных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энциклопедия эрлифтов /Папаяни Ф.А., Кононенко А.П., Козыряцкий Л.Н. и др.– Донецк, Москва: Информсвязьиздат,1995, – 598 с.
2. Теория и практика газлифта/Ю.В. Зайцев, Р.А. Максутов, О.В. Чубанов и др. – М.: Недра, 1987, 256 с.
3. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти: Учебник для вузов – 3-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1983г. – М.: ООО «издательский дом Альянс», 2009. – 510с.
4. Козыряцкий Л.Н. Исследование и разработка уточненного расчета эрлифтных установок горной промышленности. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Донецк: ДНИ, 1976. – 18 с.
5. Малеев В.Б. Исследование и разработка сифонно-вакуумного эрлифта для очистки шахтных водоотливных емкостей. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Донецк: ДНИ, 1980. – 20 с.
6. Нефтегазопромысловое оборудование. Под общ. ред. Ивановского. Учеб. для ВУЗов, – М.: «ЦентрЛитНефтеГаз» 2006. – 720 с: ил.
7. Кононенко А.П. Теория и рабочий процесс эрлифтов. Дис. докт. техн. наук. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007, – 565 с.
8. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1989, – 352 с.
9. Кононенко А.П. Структуры двухфазных потоков в подъемных трубах эрлифтов // Вісник Сумського державного університету. Серія – Технічні науки. – Суми: СДУ. – 2005. – №12(84).
10. Кононенко А.П. Рабочий процесс эрлифта и его моделирование. Монография. – Донецк: ДонНТУ, 2010, – 171 с.
11. Эрлифтные установки: учебное пособие// В.Г.Гейер, Л.Н. Козыряцкий, В.С. Пащенко, Я.К. Антонов. Донецк, ДПИ, 1982, – 63 с.

12. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. Пер. с англ. кан. т. н. В.С. Данилина и Ю.А. Зейгарника, - М.: изд. «МИР», 1972, - 440 с.
13. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем/ С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – 2-е изд. – М.: «Энергия», 1976. – 290 с.
14. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. – М.: «Энергия», 1968.
15. Кутателадзе С.С. Движение двухфазного потока в трубопроводах. – «Котлотурбостроение», 1947, № 16.
16. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Гостехиздат, 1953.
17. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. – М.: «ГосИздТехТеорЛит», 1951, 224 с.
18. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: «ГосИздФизМатЛит», 1959, 700 с.
19. Дж. Дейли, Механика жидкости/ Дж. Дейли, Д. Харлеман, перев. с англ. под ред. чл. корр. АН СССР О.Ф. Васильева, - М.: «Энергия» 197, 480 с.
20. Лобанов, П.Д. Двухфазное пузырьковое течение в вертикальной трубе при малых газосодержаниях.: дис. Канд.тех.наук/П.Д. Лобанов –Новосибирск, 2006, 162 с.
21. Малышев А.А., Мамченко В.О., Киссер К.В. Теплообмен и гидродинамика двухфазных потоков хладагентов: Учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 116 с.
22. Пат. 2440515 Российская Федерация, МПК, Эрлифт/ А.Е. Литвак. - № 2000108705/28; подача заявки: 2009-06-01, публикация патента: 20.01.2012. – 4 с.
23. Каталог пневматического оборудования фирмы Festo. – https://www.festo.com/cat/RU_RU/products
24. Каталог продукции фирмы Jun Air. – <https://www.protehnology.ru/producer/jun-air>

Приложение А

Масляный компрессор JUN AIR 6-15



Рисунок -18 Внешний вид компрессора

Масляные компрессоры JUN-AIR исполнены в виде единого модуля с термовыключателем, регулируемым клапаном давления, безопасным выключателем, манометром, краном сброса конденсата.

Уровень звука создаваемого данным компрессором значительно ниже уровня звука при обычной беседе. Это позволяет размещать компрессор в непосредственной близости от рабочего места и эксплуатировать его.

Вместе с тем компрессор способен создавать давление до 8 бар и надежно показывает себя в работе.

Наличие масла минимизирует износ жизненно важных частей компрессора, продлевает срок службы и поэтому не требует больших затрат на техническое обслуживание.

Технические характеристики:

- Рабочее давление, бар: 8
- Производительность, л/мин: 50
- Объем ресивера, л: 15
- Напряжение / частота, В/Гц: 230/50

- Максимальная сила тока, А: 2.9
- Потребляемая мощность, кВт: 0,34
- Габариты (ДхШхВ без упаковки), мм: 380×380×480
- Вес (без упаковки), кг: 26
- Уровень шума, Дб: 45

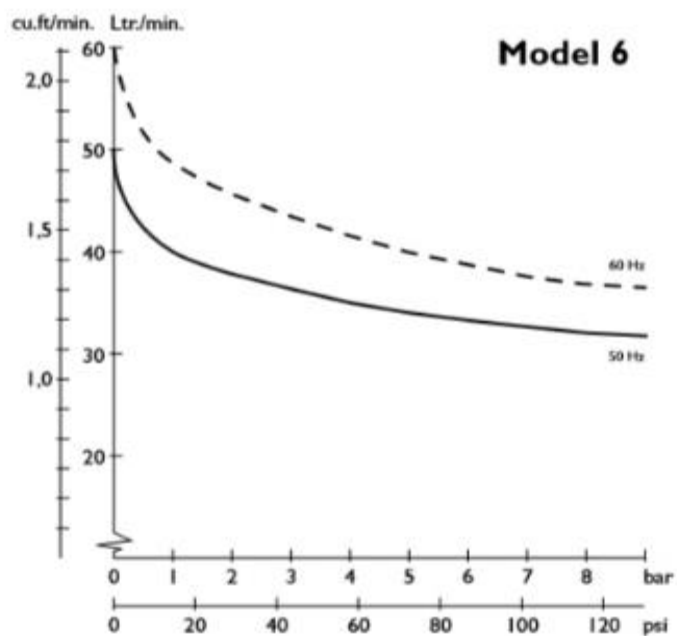


Рисунок -19 Характеристика компрессора

Приложение Б

Электронный расходомер Festo SFE3 –F500-L-WQ6-2PB-K1



Рисунок -20 Внешний вид расходомера

Датчик SFE3 предназначен для контроля изменений расхода и потребления воздуха для соответствующих сред в системах трубопроводов или промышленных исполнительных устройствах. Через аналоговый выход выводится значение расхода.

Параметры датчика расхода Festo SFE3 –F500-L-WQ6-2PB-K1:

Измеряемая величина: расход, потребление

Направление потока: в любом направлении

Диапазон измерения расхода: 0...500 л/мин

Рабочее давление: -0,7...7 бар

Рабочая среда: сжатый воздух, без масла, степень фильтрации 40 мкм

Температура среды: 0 ... 50 °C

Температура окружающей среды: 0 ... 50 °C

Точность измерения расхода: +/- (3% o.m.v. + 0,3% FS)

Приложение В

Блок подготовки воздуха Festo FRC-1/8-DB-7-MINI (G1/8)



Рисунок -21 Блок подготовки воздуха

Блок подготовки воздуха Festo FRC-1/8-DB-7-MINI (G1/8) - это комбинация фильтр, регулятор давления, маслораспылитель, максимальное выходное давление 7 бар, тонкость фильтрации 40 мкм. Блок идёт с манометром. Регулятор давления непосредственно с прямым управлением.

Основные параметры блока Festo FRC-1/8-DB-7-MINI:

Комплектация: фильтр-регулятор + маслораспылитель + манометр

Присоединение магистрали: G1/8

Номинальный расход: 550 л/мин

Регулировка давления на выходе: от 0,5 до 7 бар

Максимальное давление на входе: 10 бар

Тонкость фильтрации: 40 мкм

Размер, ширина: MINI, 88 мм

Направление потока: слева направо

Температура: -5 ... +50 °C

Фиксатор регулятора: поворотная рукоятка с фиксацией

Положение при монтаже: вертикальное, +5...-5 °

Масса: 0,30 кг

Приложение Г

Комбинация распределителя для монтажа на панели и кнопки для распределителей серии PR-22



Рисунок -22 Корпус распределителя

Рабочая среда – Фильтрованный воздух, с маслом или без масла

Конструкция – Тарельчатый клапан с прямым односторонним управлением и пружинным возвратом.

Номинальный расход до 95 л/мин, диапазон рабочего давления от 0 до 8 бар, диапазон температур -10...+60 °С.



Рисунок -23 Гибридная кнопка

Гибридная кнопка с фиксацией серии PR номер 22. Кнопка освобождается поворотом фиксирующего кольца на ободке.

При монтаже гибридной кнопки в распределитель получаем пневматическую кнопку для включения/выключения системы питания воздухом эрлифта.

Приложение Д
Дроссель регулирующий



Рисунок -24 Дроссель пневматический

Дроссели и дроссели с обратным клапаном трубного монтажа

Функция регулировки расхода в одном направлении

Присоединительная резьба: М3, М5, G1/8", G1/4", G3/8", G1/2", G3/4"

С цанговыми штуцерами для шланга: Ø 3, 4, 6, 8 мм

Температурный диапазон: -20 ... +75°C

Расход воздуха: 29,5 ... 3300 л/мин

Материал корпуса: алюминий, цинковая отливка или технополимер

Монтаж: на передней панели, на трубопроводе, через сквозные отверстия

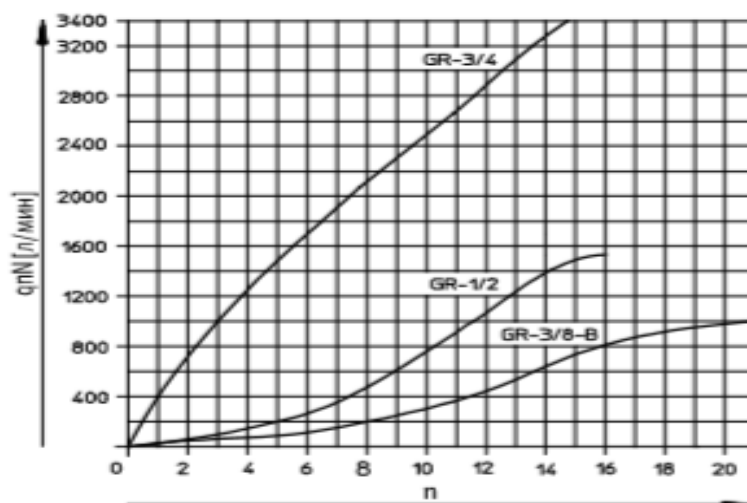


Рисунок -25 Характеристика дросселя , расход от числа поворотов

Приложение Ж

Примеры патентов эрлифтов.

Патент РФ 2440515, автор Литвак Анатолий Ефимович. Изобретение относится к области машиностроения, а именно к насосным установкам типа эрлифта. Эрлифт содержит подъемную трубу 1, которая сообщается с одной стороны с резервуаром 2, а с другой стороны с герметичным баком 3, соединенным с вакуум-насосом 4 и насосом 5. В нижней части, выше уровня жидкости в резервуаре 2, подъемная труба 1 соединена с подающей трубой 6, снабженной распределительным устройством 7, соединенным с атмосферой и включающим клапан 8, пружину 9, упругий элемент 10, управляющее устройство 11, корпус 12. Расширяются технологические возможности путем обеспечения подъема жидкости на неограниченную высоту. 1 ил.

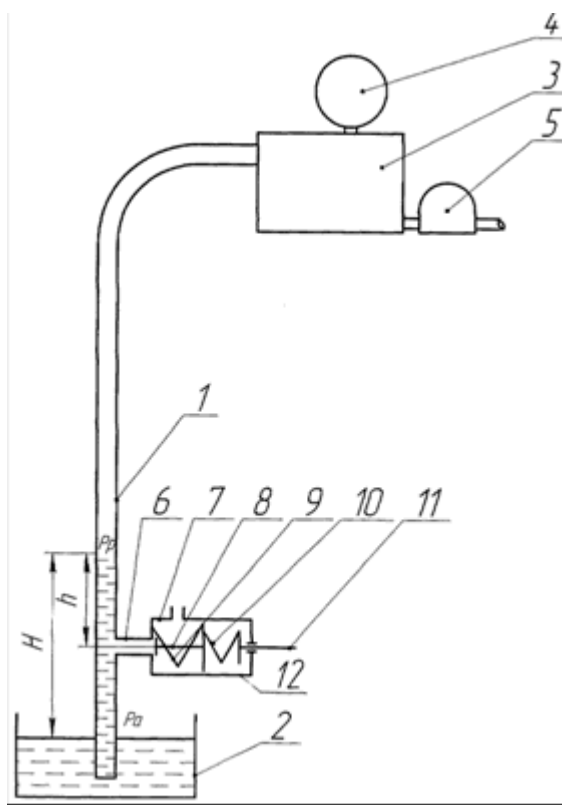


Рисунок -26 Схема патента № 2440515

Эрлифт содержит подъемную трубу 1, которая сообщается с одной стороны с резервуаром 2, а с другой стороны с герметичным баком 3, соединенным с вакуум-насосом 4 и насосом 5. В нижней части, выше уровня жидкости в резервуаре 2, подъемная труба 1 соединена с подающей трубой 6, снабженной

распределительным устройством 7, соединенным с атмосферой и включающим клапан 8, пружину 9, упругий элемент 10, управляющее устройство 11, корпус 12.

Под воздействием управляющего устройства 11, приводимого в действие с помощью электрического, механического или иного привода, через упругий элемент 10, клапан 8 перекрывает отверстие подающей трубы 6, сжимая пружину 9. Вакуум-насос 4 создает разрежение в баке 3 и подъемной трубе 1. Под воздействием разности давлений жидкость из резервуара 2 поступает в подъемную трубу 1, образуя столб высотой H . При отключении управляющего устройства 11 пружина 9 мгновенно перемещает клапан 8, открывая отверстие подающей трубы 6 и сообщая ее с атмосферой. При этом образуется столб жидкости высотой h ($h < H$).

Под действием разности давлений сверху и снизу столб жидкости поднимается по подъемной трубе и поступает в бак 3, откуда насосом 5 подается потребителю.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Эрлифт, содержащий вакуумнасос, подъемную трубу, управляемый клапан, размещенный в корпусе, сообщающемся с атмосферой и с подъемной трубой над уровнем жидкости посредством подающей трубы, и пружину, отличающийся тем, что пружина, расположена между клапаном и корпусом со стороны подающей трубы.

Данное конструкторское решение позволяет получить увеличение максимальной высоты подъема жидкости в 3-4 раза.