

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э.А. Петровский

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01 «Нефтегазовое дело»

21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов  
нефтегазового производства»

**Модернизация центрифуги для очистки бурового раствора**

Руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Е.А. Соловьёв\_\_\_\_\_

Выпускник \_\_\_\_\_ А.Ю. Познахарев

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Э.А. Петровский

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы**

Красноярск 2017

Студенту Познахареву Андрею Юрьевичу

Группа ГБ 13-04

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль 21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового производства»

Тема выпускной квалификационной работы «Модернизация центрифуги для очистки бурового раствора»

Утверждена приказом по университету № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР Е.А. Соловьёв, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Предметом модернизации является центрифуга для очистки бурового раствора от твёрдых частиц. Объектом модернизации является сопло для выхода жидкой фазы. Главным критерием модернизации является снижение потребляемой энергии на 20%, повышение мощности и улучшение степени очистки бурового раствора от твердых частиц. Рабочие параметры центрифуги для очистки бурового раствора: производительность 130 м<sup>3</sup>/смену, частота вращения 2190 об/мин, диаметр частиц  $7 \cdot 10^{-6}$  м.

### **Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):**

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы.

Раздел 1 – Литературный обзор. Аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников и научных статей по существующим центрифугам для очистки бурового раствора от твёрдых частиц. Сравнительный анализ существующих конструкций центрифуг для очистки бурового раствора с выявлением их достоинств и недостатков. Заключение к литературному обзору, постановка задач на проектирование. Отчёт о патентных исследованиях выполнить по ГОСТ отдельным приложением к бакалаврской работе.

Раздел 2 – Конструкторско-технологический раздел. Разработка технического задания на модернизацию конструкции центрифуги для очистки бурового раствора. Расчёт основных параметров центрифуги (технологический расчёт, конструкторский расчёт). Модернизация конструкции сопла для выхода жидкой фазы. Разработка мероприятий по антикоррозионной защите центрифуги.

Раздел 3 – Эксплуатация и ремонт. Разработка руководства по эксплуатации центрифуги для очистки бурового раствора. Разработка мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту центрифуги.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического и иллюстративного материала: Чертёж общего вида центрифуги (1 лист формата А1), Сопло для выхода жидкой фазы. Сборочный чертеж (1 лист формата А3), Корпус (1 лист формата А3), Пластина (1 лист формата А4), презентация (12 – 16 страниц).

---

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ Е.А. Соловьёв

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ А.Ю. Познахарев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Модернизация центрифуги для очистки бурового раствора» содержит 101 страницу текстового документа, 26 рисунков, 7 таблиц, 2 приложения, 38 использованных источников, 2 листа графического материала.

**ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ, СИСТЕМА ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА, ЦЕНТРИФУГА ДЛЯ ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА, СОПЛО ДЛЯ ЖИДКОЙ ФАЗЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ, СКОРОСТЬ ПОТОКА.**

**Цель работы:** Проанализировать конструкции центрифуг для очистки бурового раствора от твердых частиц. Разработать метод оптимизации конструкции сопла для выхода жидкой фазы, исходя из оценки гидродинамических параметров потока бурового раствора и напряжений, действующих на сопло, вследствие давления, создаваемого потоком бурового раствора.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ существующих конструкций центрифуг для очистки бурового раствора;
- исследование проблем центрифуг, с учетом конструкции, характеристик и назначения оборудования;
- патентно – информационный обзор;
- выбор более эффективной модели сопла для выхода жидкой фазы центрифуги очистки бурового раствора;
- проведен расчет основных параметров центрифуги для очистки бурового раствора.

В ходе выполнения выпускной работы была проанализирована информация о конструкциях центрифуг. Исследованы проблемы центрифуг, с учетом конструкции, характеристик и назначения оборудования. Сформулирована и решена задача оптимизации конструкции сопла для выхода жидкой фазы, исходя из оценки гидродинамических параметров потока бурового раствора и напряжений, действующих на сопло, вследствие давления, создаваемого потоком бурового раствора.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Литературный обзор .....	10
1.1 Анализ существующих конструкций центрифуг для очистки бурового раствора.....	10
1.1.1 Общие сведения и принцип действия.....	10
1.1.2 Основные показатели работы центрифуг.....	13
1.1.3 Основные параметры центрифуг типа ОГШ .....	14
1.1.4 Принципиальные схемы.....	14
1.1.5 Конструкции центрифуг типа ОГШ для очистки бурового раствора..	16
1.2 Проблемы центрифуги для очистки бурового раствора.....	21
1.2.1 Проблемы при эксплуатации центрифуги.....	21
1.2.2 Проблемы выбора оптимальной модели .....	21
1.2.3 Признаки, влияющие на выбор способа разделения суспензии и характера протекания процесса.....	22
1.2.4 Признаки, влияющие на выбор типа машины и способа выгрузки осадка .....	23
1.2.5 Проблемы надежности .....	24
1.2.6 Основные проблемы центрифуг для очистки бурового раствора .....	27
1.3 Заключение к литературному обзору и постановка задачи.....	28
2 Конструкторско – технологический раздел.....	30
2.1 Техническое задание на модернизацию конструкции центрифуги для очистки бурового раствора .....	30
2.2 Техническое предложение .....	31
2.3 Расчетная часть.....	32
2.3.1 Исходные данные.....	32
2.3.2 Технологическая часть .....	32
2.3.3 Расчет потребляемой мощности центрифуги .....	33
2.3.4 Расчет цилиндрической части ротора.....	36
2.3.5 Расчет цилиндрической части ротора.....	39
2.3.6 Расчет клиноременной передачи.....	39
2.3.7 Расчет вала.....	43
2.3.8 Подбор подшипников.....	46
2.3.9 Расчет изменения потребляемой энергии и производительности сопел жидкой фазы .....	48
2.4 Технология изготовления сопла для выхода жидкой фазы.....	49
2.4.1 Исходные данные.....	49
2.4.2 Порядок выполнения обработки .....	50
2.5 Разработка мероприятий по антикоррозионной защите центрифуги.....	55
2.6 Вывод по разделу .....	57
3 Эксплуатация и ремонт.....	58
3.1 Общие сведения о ремонте центрифуги для очистки бурового раствора...	59

3.2 Методы контроля деталей центрифуги с целью определения их пригодности к эксплуатации.....	61
3.2.1 Контроль резьбовых соединений .....	61
3.2.2 Контроль ротора.....	61
3.2.3 Контроль валов, штоков, цапф ротора и шнека.....	62
3.2.4 Контроль литых корпусных деталей .....	62
3.2.5 Контроль сварных узлов .....	62
3.2.6 Контроль редуктора .....	63
3.2.7 Контроль уплотнений.....	63
3.3 Ремонт основных деталей центрифуги для очистки бурового раствора.....	63
3.3.1 Ремонт шнека и ротора.....	63
3.3.2 Ремонт редуктора.....	65
3.3.3 Ремонт вала.....	65
3.3.4 Ремонт ремней.....	69
3.3.5 Ремонт подшипников .....	70
3.3.6 Ремонт резьбовых и шлицевых соединений .....	71
3.4 Неполадки центрифуги для очистки бурового раствора .....	72
3.5 Вывод по разделу .....	73
Заключение .....	74
Список использованных источников .....	75
Приложение А Отчёт о патентных исследованиях .....	78
Приложение Б Графические материалы .....	101

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, когда сильно возрастают расходы на эксплуатацию, добычу и поддержание скважин нефтяных месторождений в работоспособном состоянии, очень актуально встает проблема применения и развития нефтепромыслового оборудования, с более высокими экономическими показателями.

Темпы развития промышленности требуют значительного улучшения конструкций машин и аппаратов, повышения их надежности и работоспособности. Практически во всех отраслях промышленности приходится иметь дело с жидкими неоднородными системами и оборудованием, предназначенным для их разделения.

Для разделения неоднородных систем, состоящих из двух и более фаз (суспензий и эмульсий), применяют метод центрифугирования, основанный на воздействии силового центробежного поля на неоднородную систему. Машины для разделения неоднородных систем в центробежном поле называют центрифугами. Практически трудно найти такую отрасль промышленности, где бы ни использовались центрифуги. Их применяют в химической, пищевой, медицинской, металлургической и других отраслях народного хозяйства.

Современные промышленные центрифуги — это сложнейшее технологическое оборудование, состоящее из многих механизмов высокой точности, обладающее высокими скоростями и управляемое с помощью сложных электрогидравлических, электропневматических или электрических систем. Надежная работа центрифуг зависит от соблюдения технологической дисциплины, знания их конструкции, а также правил наладки, пуска, эксплуатации и ремонта.

Применение центрифуги в бурении позволяет:

- обеспечить экологически чистую технологию проходки скважин за счет резкого сокращения объема отходов бурения;
- увеличить скорость проходки и снизить абразивный износ оборудования вследствие уменьшения концентрации твердой фазы в буровом растворе;
- решить проблему экономии и повторного использования утяжелителя;
- снизить расход химреагентов за счет исключения сбросов бурового раствора на рельеф;
- увеличить нефтеотдачу продуктивного пласта.
- получить твердую фазу, выгружаемую из центрифуги, представляющую собой глинистую массу с малым содержанием влаги и пригодную для перевозки в автосамосвалах к местам складирования.

**Цель работы:** проанализировать конструкции центрифуг для очистки бурового раствора, разработать метод оптимизации конструкции для улучшения эксплуатационных характеристик.



**Задачи работы:** рассмотрение существующих конструкции центрифуг, выявление проблем данных агрегатов, патентно–информационный обзор, техническое предложение по модернизации центрифуги, расчет основных параметров центрифуги.

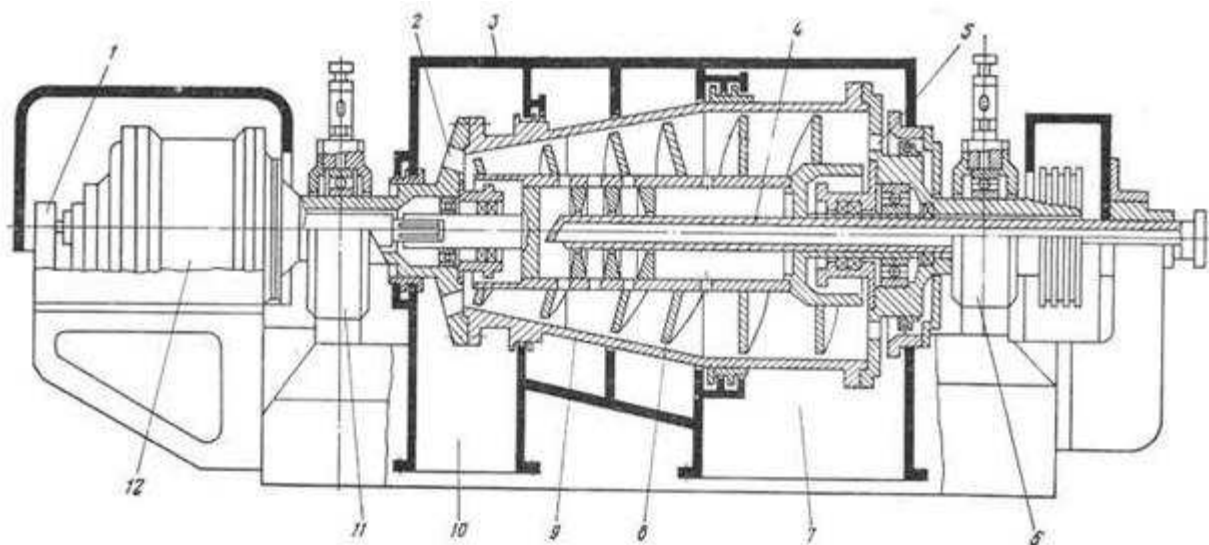
## 1 Литературный обзор

### 1.1 Анализ существующих конструкций центрифуг для очистки бурового раствора

В ходе изучения литературы установлено, что для очистки бурового раствора наиболее широко применяются осадительные шнековые центрифуги с непрерывной выгрузкой осадка [1].

#### 1.1.1 Общие сведения и принцип действия

Общий конструктивный признак центрифуг типа ОГШ – горизонтальное расположение оси неперфорированного конического и цилиндрического ротора с соосно-расположенным внутри него шнеком. Ротор и шнек (рис. 1.1) вращаются в одном направлении, но с различными скоростями, так что образующийся осадок перемещается шнеком вдоль ротора. Ротор установлен на двух опорах и приводится во вращение электродвигателем через клиноременную передачу; шнек приводится во вращение от ротора через планетарный редуктор. Ротор закрыт кожухом, имеющим внизу проходы для отвода осадка и фугата.



- 1 – защитное устройство редуктора; 2, 5 – окна выгрузки осадка и слива фугата; 3 – кожух;  
4 – питающая труба; 6, 11 – опоры; 7, 10 – штуцеры отвода фугата и выгрузки осадка;  
8 – шнек; 9 – ротор; 12 – планетарный редуктор.

Рисунок 1.1 – Схема центрифуги типа ОГШ

Суспензия подается по питающей трубе во внутреннюю полость шнека (рис.1.2), откуда через окна обечайки шнека поступает в ротор. Под действием центробежной силы происходит ее разделение, и на стенках ротора осаждаются частицы твердой фазы. Осадок транспортируется шнеком к выгрузочным

окнам, расположенным в узкой части ротора. Осветленная жидкость течет в противоположную сторону, к сливным окнам, переливается через сливной порог и выбрасывается из ротора в кожух. Диаметр сливного порога можно регулировать с помощью сменных заслонок или поворотных шайб. Скорость вращения изменяют путем смены приводных шкивов.

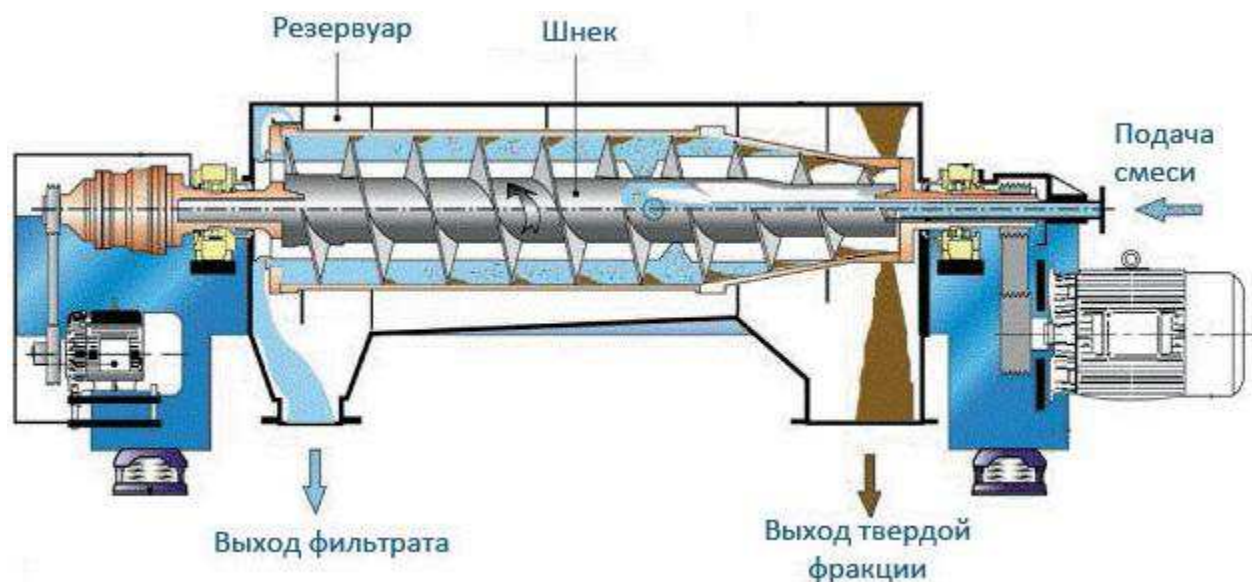


Рисунок 1.2 – Принцип действия центрифуги ОГШ

Центрифуга обычно снабжена защитным устройством, которое отключает ее при перегрузке, одновременно включая световой или звуковой сигнал. В некоторых случаях центрифуги комплектуют трубой для подачи промывочной жидкости, однако поскольку промывка осадка в центрифугах рассматриваемого типа малоэффективна, ее обычно заменяют репульпацией выгружаемого осадка.

Регулирование технологического режима в центрифугах ОГШ производят за счет изменения скорости подачи суспензии в полость ротора, частоты вращения ротора, диаметра сливного порога. Если уменьшить диаметр сливного порога (увеличить длину зоны осаждения) и увеличить частоту вращения ротора, то можно повысить степень осветления фугата. А если же увеличить диаметр сливного порога (увеличить длину зоны сушки) и увеличить частоту вращения ротора, то можно повысить степень просушки (влажность) осадка.

Центрифуги ОГШ предназначены для разделения суспензий с концентрацией твердой фазы от 1 до 40% при крупности частиц свыше 5 мкм и разности плотностей твердой и жидкой фаз более  $0,2 \text{ кг/дм}^3$ , а также для гидравлической классификации суспензий по крупности твердых частиц. Классифицировать тяжелые материалы (различия плотностей более  $2 \text{ кг/дм}^3$ ) можно по граничному размеру частиц, равному 2 мкм.

По технологическому назначению центрифуги ОГШ подразделяют на три группы: осветляющие и классифицирующие, универсальные, обезвоживающие.

Осветляющие и классифицирующие центрифуги имеют одинаковое конструктивное исполнение и отличаются только назначением (кроме прямоточных осветляющих специальной конструкции). Осветляющие центрифуги предназначены для очистки низкоконцентрированных суспензий с высокодисперсной твердой фазой. Производительность по осадку и его влажность обычно не регламентируются. При очень высоких требованиях к чистоте фугата для разделения суспензий применяют тарельчатые сепараторы и трубчатые центрифуги. В этом случае осветляющие центрифуги могут быть использованы как классификаторы для предварительной очистки суспензий от частиц, размером более 5 мкм, а также для уменьшения концентрации твердой фазы в суспензии. Эта группа машин характеризуется высоким фактором разделения (более 2500), отношением длины ротора к его диаметру более 3 и высокой производительностью по суспензии.

Универсальные центрифуги предназначены для разделения суспензии с твердой фазой малой и средней концентрации. При работе этих центрифуг получают сравнительно чистый фугат и осадок с небольшой влажностью. Фактор разделения равен 2000 - 3000, отношение длины ротора к его диаметру —  $2\div 3$ .

Обезвоживающие центрифуги предназначены для разделения высококонцентрированных грубодисперсных суспензий. Для этих машин характерна высокая производительность по осадку и сравнительно небольшая его влажность. Фактор разделения составляет менее 2000, отношение длины ротора к его диаметру — не более 2. В обезвоживающих центрифугах осадок иногда промывают.

Все центрифуги типа ОГШ имеют следующие достоинства:

- высокая производительность при малых габаритах и непрерывность технологического процесса;
- отсутствие фильтрующего элемента, подверженного быстрому износу или забиванию (благодаря этому машины надежны в работе и позволяют получать продукт постоянного качества);
- пригодность для обработки очень тонких суспензий различной концентрации;
- возможность изменять концентрацию суспензии во время работы;
- простота обслуживания.

К недостаткам же следует отнести:

- невысокую степень обезвоживания осадка;
- невозможность качественной промывки осадка в машине;
- сравнительно быстрый износ шнека и ротора при обработке абразивных продуктов.

Согласно ГОСТ 8459—78 «Центрифуги горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка», центрифуги типа ОГШ имеют следующие диаметры ротора: 200, 325, 350, 500, 630, 800, 1000 мм [33].

## 1.1.2 Основные показатели работы центрифуг

В технической документации представлено большое количество показателей и характеристик центрифуг для очистки бурового раствора. Но целесообразно рассмотреть основные показатели, характеризующие работу центрифуг для очистки бурового раствора.

Одним из основных показателей работы центрифуг является индекс производительности, характеризующий относительную разделяющую способность центрифуги. Его рассчитывают по формуле:

$$\Sigma = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{рт}} \cdot L \cdot F_r, \quad (1.1)$$

где  $L$  - длина ротора центрифуги периодического действия или цилиндрической части ротора шнековой центрифуги;

$F_r$  - фактор разделения на радиусе ротора  $r_{\text{рт}}$ .

Фактор разделения — безразмерный параметр, определяющий, во сколько раз ускорение центробежного поля, развиваемого в центрифуге, больше ускорения свободного падения. Его находят из уравнения:

$$F_r = \frac{\omega^2 \cdot r_{\text{рт}}}{g}, \quad (1.2)$$

где  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$  – угловая скорость ротора, рад/с;

$n$  – частота вращения ротора, об/мин;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Значения  $r_{\text{рт}}$  и  $\omega$  зависят от конструктивных особенностей центрифуги. С их увеличением фактор разделения растет. Максимальное значение его практически достигается увеличением угловой скорости (при вынужденном уменьшении радиуса ротора из-за прочностных и динамических ограничений).

При эксплуатации центрифуги для очистки бурового раствора одним из важнейших показателей качества работы осадительной центрифуги является её очистная способность, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$\varphi = 10^{-6} \cdot \frac{\pi L D}{Q \eta} \left( \frac{10^{-6} \omega^2 \cdot D \cdot \Delta \rho}{36} \delta^2 - \frac{\tau_0}{3} \delta \right), \quad (1.3)$$

где  $L$  – длина ротора, м;

$D$  – диаметр ротора, м;

$\omega$  – частота вращения ротора, об/мин;

$Q$  – производительность центрифуги, м<sup>3</sup>/с;

$\eta$  – пластическая вязкость промывочной жидкости, Па·с;

$\tau_0$  – динамическое напряжение сдвига промывочной жидкости, Па;

$\Delta \rho$  – разность плотностей твердой и жидкой фаз раствора, кг/м<sup>3</sup>.

### 1.1.3 Основные параметры центрифуг типа ОГШ

Технические характеристики центрифуг ОГШ приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики центрифуг типа ОГШ.

Показатели	Значение показателя для центрифуги																				
	ОГШ-202К-03 ОГШ-202К-05	ОГШ-207К-04	ОГШ-321К-01 ОГШ-321К-02	ОГШ-321К-05	ОГШ-352К-01	ОГШ-352К-03	ОГШ-352К-05	ОГШ-352К-06	ОГШ-353К-09	ОГШ-352Т-09	ОГШ-353К-12	ОГШ-501К-09	ОГШ-502К-04	ОГШ-501К-06	ОГШ-501К-10	ОГШ-501К-11	ОГШ-631К-02	ОГШ-631К-05	ОГШ-802К-07	ОГШ-802К-04	ОГШ-1001К-01
Расчетная производительность по суспензии, м <sup>3</sup> /ч	2	2	4	3	3	6	5	5	6	6	5	10	6	10	15	10	30	30	25	15	80
Ротор																					
наибольший внутренний диаметр, мм	200	200	320	325	350	350	350	350	350	350	350	500	500	500	500	500	630	630	800	800	1000
наибольшее число оборотов в минуту	6000	5500	4000	3500	4250	4000	4250	4250	3600	4000	4250	2650	2800	2800	2300	2800	2000	2000	1650	1650	1000
наибольший фактор разделения	4000	3400	2862	2200	3535	3140	3535	3535	2500	3140	3535	1960	2190	2190	1960	2190	1420	1420	1217	1220	560
отношение длины ротора к диаметру $L/D$	3,0	3,0	1,8	1,65	1,8	2,85	1,8	1,8	2,85	2,85	1,8	3,6	1,86	1,86	3,6	1,86	3,76	3,76	2,2	1,66	3,6
Электродвигатель привода																					
тип	B100L2YXJ2	B112M2YXJ2	4A132M2	4A112M2Y3	B112M2Y3	B180M2YXJ2	B180M2YXJ2	B160M2YXJ2	B180M4YXJ2	B180M2YXJ2	B160M2YXJ2	4A250S4AY3	B180M4YXJ2	4A180M4Y3	4A250S4Y3	4A180M4Y3	4A250M4Y3	4A250M4Y3	B250M4Y3	B2504YXJ2	AK2-92-4
мощность, кВт	5,5	7,5	11	7,5	7,5	30	18,5	18,5	30	30	18,5	75	30	30	75	30	90	90	90	75	110
Электродвигатель маслонасоса																					
тип	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B63A4	B63A4	B63A4	B63A4	B63A4	B63A4	B63A4	B63A4	B63A4
мощность, кВт	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Габаритные размеры, мм																					
длина	1455	1760	1640	1560	1745	2630	2200	2200	2630	2630	2200	3910	2585	2585	3650	2505	5100	5100	4500	3960	6650
ширина	1080	1170	1110	960	1160	1860	1860	1860	1860	1860	1860	2700	2100	2100	2200	1965	2750	2750	2900	2680	3600
высота	790	790	660	650	725	1135	1135	1135	1135	1135	1135	1350	1080	1080	1300	1020	1450	1450	1500	1400	2130
Масса, кг																					
центрифуги без электродвигателя и виброизоляции	450	920	560	560	773	1435	1170	1170	1520	1300	1170	6900	2360	3260	3000	2360	8200	8200	6800	6340	15500
общая (установка)	685	1200	720	720	1020	2120	1720	1720	2660	1950	1720	8465	3200	3200	5200	3020	12200	12200	9700	8310	20000

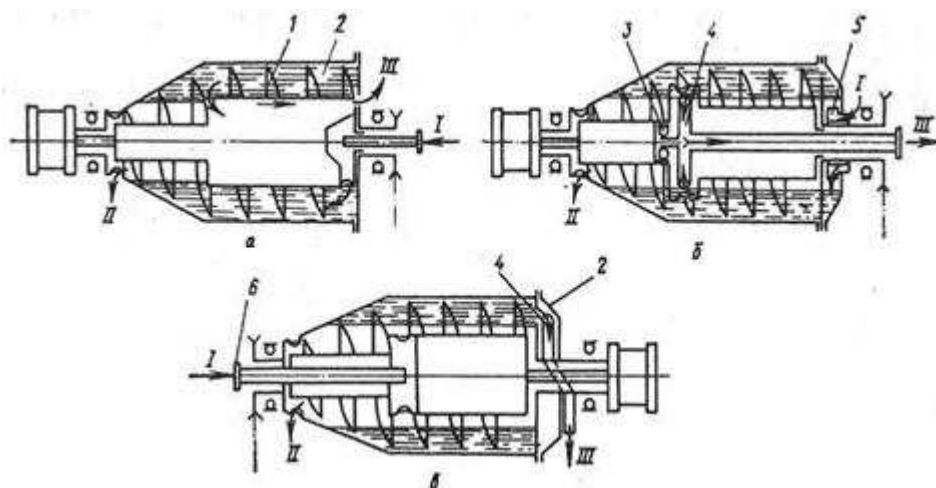
### 1.1.4 Принципиальные схемы

Несмотря на то, что конструкции центрифуг типа ОГШ однотипны, осадительные шнековые центрифуги имеют довольно разнообразные исполнения, зависящие от их технологического назначения и кинематической схемы. В зависимости от технологического решения машины могут иметь противоточное или прямоточное исполнение.

В традиционной классической противоточной схеме (рис. 1.3 в) в роторе потоки суспензии двигаются во встречном направлении, тем самым двигаясь вправо к сливным окнам. А твердая фаза транспортируется шнеком влево. Противоточная схема в своём технологическом процессе имеет существенный недостаток, который заключается в том, что поток жидкой фазы, обладая скоростью, противоположной по направлению скорости осевших на роторе твердых частиц, способен в известной мере увлекать их за собой и ухудшать показатели разделения.

Прямоточная схема (рис. 1.3 а) лишена этого недостатка за счет того, что поток суспензии в роторе движется в том же направлении, что и транспортируемый шнеком осадок, а фугат выводится через полость в барабане шнека 1 и окна ротора 2.

Хоть прямоточная схема и имеет значительные преимущества, но она также имеет и недостатки. А именно, в конструкции, показанной на рис. 1.3 а, возможно засорение сливного барабана шнека частицами, выпадающими из фугата. Также неизбежно снижение эффективности машины вследствие смешения фугата и суспензии через кольцевую щель между днищем ротора и шнеком.



1 – шнек; 2 – ротор; 3 – подшипник; 4 – напорное устройство; 5 – патрубок ввода суспензии; 6 – труба питания; I – суспензия; II – осадок; III – фугат

Рисунок 1.3 – Принципиальные схемы прямоточных (а, б) и противоточных (в) шнековых центрифуг

Другая прямоточная схема (рис. 1.3 б) имеет напорное устройство 4 для вывода фугата и боковой патрубков 5 ввода суспензии, причем для восприятия радиальных усилий от давления суспензии напорное устройство снабжено подшипником 3, установленным в барабане шнека. Эта схема также не совершенна, поскольку сложна в сборке, имеет труднозащищаемый от агрессивных сред подшипник, работающий при полной скорости шнека, и усложненную конструкцию бокового ввода суспензии через карман в ротор.

Исходя из выше изложенного, прямоточные схемы нуждаются в совершенствовании, в то время как противоточная схема предельно проста и надежна. Применение прямоточных конструкции оправдано в основном для осветления низкоконцентрированных суспензий с тонкодисперсной твердой фазой или, говоря более широко, — для технологических процессов, где к чистоте фугата предъявляют повышенные требования (очистка промышленных и городских сточных вод, разделение гидроксидов металлов, производства полимеров, осветление каустической соды и растительных масел). В тех случаях, когда требуется большая производительность по осадку, а требования к чистоте фугата не очень жестки, предпочтительна противоточная схема. Четкую границу деления областей применения машин обоих типов установить трудно.

В тех производствах, где недопустима аэрация фугата ввиду склонности его к пенообразованию или повышенному окислению, машины снабжают напорными устройствами, использующими кинетическую энергию фугата и выводящими его из ротора под напором в замкнутую емкость. В этом случае центрифуга одновременно является своего рода насосом. На рис. 1.3 б показана такая прямоточная схема, а на рис. 1.3 в — противоточная. Последняя схема более проста, ибо для подачи суспензии использована обычная питающая труба б, а напорное устройство 4 установлено в боковом кармане ротора 2 и не нуждается в специальном подшипнике.

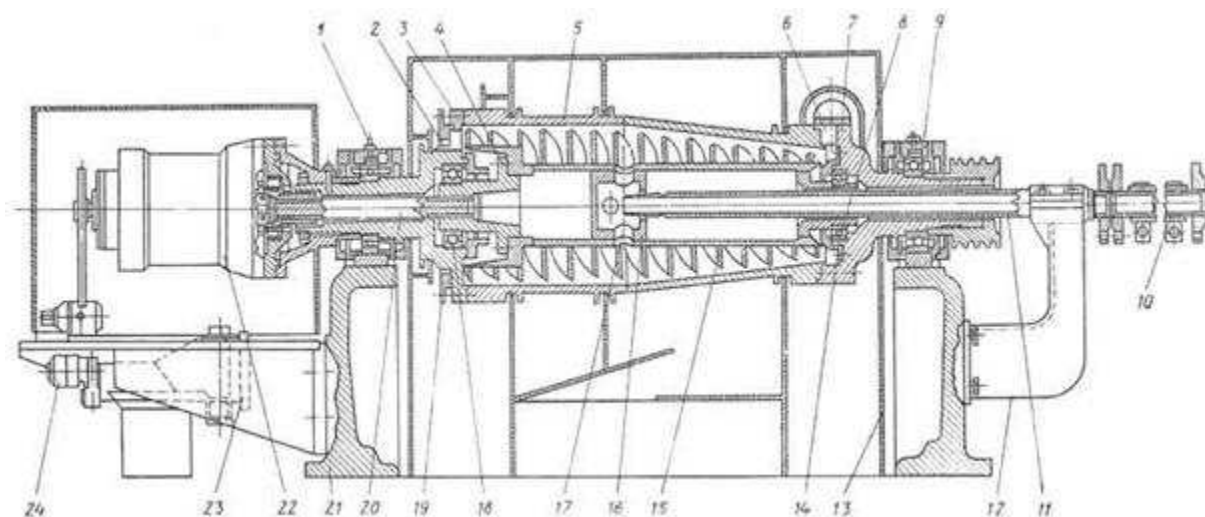
Наряду с описанными принципиальными схемами оформления технологического процесса в шнековых осадительных центрифугах существуют модификации машин, в которых предусмотрена подача промывной жидкости в зону сушки осадка или подача флокулянта в зону питания. В первом случае промывная жидкость способствует отделению нежелательных примесей от осадка; во втором — добавка флокулянта способствует конгломерации частиц и более эффективному их осаждению. Такой способ центрифугирования широко применяют при очистке сточных вод.

### **1.1.5 Конструкции центрифуг типа ОГШ для очистки бурового раствора**

В данном разделе рассмотрены конструкции центрифуг типа ОГШ-35 и ОГШ-50, так как центрифуги данных типов наиболее часто используются в бурении.

Центрифуга ОГШ-35.





- 1 – масленка; 2, 6 – окна слива фугата и выгрузки осадка; 3, 7 – полые цапфы ротора; 4, 8 – левая и правая цапфы шнека; 5, 9 – барабан и опора ротора; 10 – гибкая связь; 11 – питающая труба; 12 – кронштейн питающей трубы; 13 – кожух центрифуги; 14, 18 – подшипники; 15 – шнек; 16 – приемная камера шнека; 17 – загрузочные отверстия; 19 – регулировочное кольцо; 20 – шлицовый вал; 21 – станина; 22 – планетарный редуктор; 23 – кронштейн; 24 – механизм защиты редуктора.

Рисунок 1.4 – Центрифуга ОГШ-352К-04

Для малолитражного бурения, например при резке боковых стволов, используют центрифуги центрифуги ОГШ-35 (внутренним диаметром цилиндрической части ротора 350 мм) в исполнениях: ОГШ-352К-06, ОГШ-352К-06.

Центрифуга ОГШ-352К-04 изготавливается негерметизированной, со взрывозащищенным электрооборудованием и служит базовой моделью центрифуг данного типа. Она предназначена для осветления низкоконтцентрированных — концентрацией не более 10% (об.) - суспензий с высокодисперсной твердой фазой. Детали центрифуги, которые непосредственно соприкасаются с обрабатываемым продуктом, изготавливают из стали 12Х18Н10Т.

Основной конструктивной особенностью данной центрифуги является удлиненный ротор с отношением длины ротора к его диаметру – 2,85. Он состоит из сварного барабана 5 цилиндрической формы и полых цапф 3 и 7, которые одновременно служат днищами, закрывающими торцы ротора, и опорами шнека 15. В левой цапфе 3 расположены окна 2 для слива фугата, перекрываемые сливными порогами. Радиус слива регулируется поворотом кольца 19. В правой цапфе имеются радиально расположенные окна 6 для выгрузки осадка.

В собранном виде ротор устанавливают на двух шарикоподшипниковых опорах 9. Внутри ротора расположен двухзаходный шнек, состоящий из ступенчатого сварного полого цилиндрического барабана и двух витков, приваренных к его наружной поверхности. Барабан имеет две торцевые

перегородки. К одной из них болтами крепится левая цапфа 4 шнека, имеющая шлицы, с помощью которых шнек через шлицевый вал 20 соединяется с водилом второй ступени планетарного редуктора 22. Вторая перегородка представляет собой правую полуцапфу 8 шнека.

В средней части шнека имеется камера 16, в которую по питающей трубе 11 подается суспензия, поступающая из камеры через цилиндрические отверстия 17 в ротор. На цапфы шнека насажены подшипники 14 и 18, опорами которых являются полые цапфы ротора. Посадка подшипников по наружному и внутреннему диаметрам — скользящая, по второму классу точности.

Подшипник левой цапфы кроме радиальной нагрузки воспринимает осевую, возникающую при перемещении осадка к разгрузочным окнам. Другой подшипник шнека воспринимает только радиальные нагрузки. Смазку подшипников производят консистентной смазкой, марки ЦИАТИМ-202. В левую опору шнека ее подают пресмасленкой, расположенной в ступице крышки планетарного редуктора, в правую — через вертикальный канал фланца правой цапфы ротора. Уплотнения подшипников — резиновые манжетные.

Чугунную литую станину центрифуги 21 устанавливают на резиновых амортизаторах. С правой торцевой стороны к ней крепят болтами чугунный кронштейн 12 питающей трубы, а с левой — сварной кронштейн 23 механизма защиты редуктора 24. На станине закреплены главные опоры машины. Каждая опора состоит из корпуса, шарикоподшипника и двух крышек, закрывающих подшипник. Уплотнения — лабиринтные, смазка — консистентная, марки ЦИАТИМ-202.

Через полые цапфы шнека и ротора в приемную камеру шнека входит питающая труба. Для обеспечения свободы колебаний центрифуги, установленной на резиновых амортизаторах, и исключения передачи вибраций центрифуги питательной магистрали последняя соединена с трубой загрузки гибкой связью - резиновым шлангом 10.

Кожух 13 центрифуги - сварной из листовой стали, с горизонтальным разъемом вдоль оси машины, внутри разделен перегородками, образующими зоны выгрузки осадка и приема фугата. Места выхода цапф из кожуха защищены круговыми козырьками. Чтобы предотвратить налипание на кожух выгружаемого из ротора продукта, в зоне приема осадка над разгрузочными окнами ротора установлен дугообразный приемный желоб, а на фланце цапфы ротора, между разгрузочными окнами, закреплены два скребка, сбрасывающие продукт с желоба в течку. Кожух соединен гибкой связью с магистралями отвода фугата и осадка.

Привод центрифуги осуществляется посредством клиновых ремней от электродвигателя, установленного на станине. Натяжение ремней регулируется натяжным устройством, которым снабжен двигатель.

Планетарный редуктор передает вращение от ротора шнеку с некоторым уменьшением скорости последнего по сравнению со скоростью ротора. Вследствие этой разницы обеспечивается принудительное перемещение осадка вдоль внутренней поверхности ротора.

## Центрифуги ОГШ-50

Центрифуги данного типоразмера применяются в практике эксплуатационного бурения. ОГШ-502К-04 открытого исполнения общего назначения и ОГШ-501К-06 — открытого исполнения для обработки суспензий с абразивной твердой фазой. Витки шнека центрифуги ОГШ-501К-06 наплавлены стеллитом, а окна для выгрузки продукта снабжены специальными втулками из силицированного графита, предотвращающими повышенный их износ. Центрифуги отличаются лишь углом наклона образующей конусной части ротора: в машине ОГШ-501К-06 он составляет  $8,5^\circ$ , в машине ОГШ-502К-04 —  $10^\circ$ .

Конструкции большинства узлов и деталей центрифуг ОГШ-50 аналогичны описанным ранее. К особенностям их следует отнести применение для опор ротора жидкой смазки, поступающей от маслонасосной станции. Подшипники шнека заполняются консистентной смазкой с помощью пресс-масленок, расположенных в цапфах ротора. Приводной шкив центрифуги соединен непосредственно с корпусом планетарного редуктора, что дает некоторые преимущества в обслуживании машин. Внутренняя поверхность обечайки кожуха центрифуги ОГШ-501К-06 в зоне приема осадка облицована резиноканевыми листами, предохраняющими кожух от износа. Для промывки осадка центрифуги снабжены промывной трубой, расположенной внутри питающей трубы.

По требованию потребителя центрифуги могут комплектоваться электрооборудованием как обычного, так и взрывозащищенного исполнения.

Отношение рабочей длины ротора  $L/D$  к его диаметру в центрифугах ОГШ-502К-04 и ОГШ-501К-06 составляет 1,86 при факторе разделения 2190, что обуславливает их применение в качестве обезвоживающих.

Разработана усовершенствованная базовая модель центрифуги ОГШ-501К-П с ротором из стали 08Х22Н6Т, укомплектованная редуктором повышенной мощности. Сравнительные испытания центрифуг ОГШ-502К-04 и ОГШ-501К-11 при обработке сырого осадка первичных отстойников на очистных сооружениях показали, что производительность центрифуги новой модели на 80% выше, чем центрифуги ОГШ-502К-04.

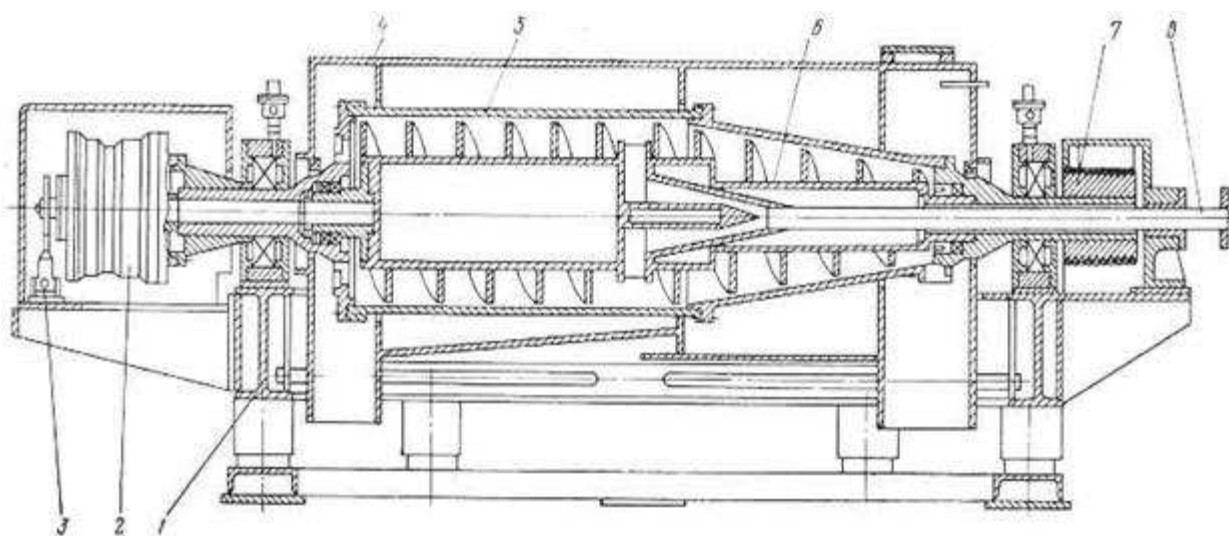
В противоточных осадительных шнековых центрифугах (рис. 1.4) суспензия, поступающая в ротор примерно в середине его длины (вблизи перехода от цилиндрической на коническую часть ротора), течет к сливным окнам, расположенным в торцовой стенке ротора у широкого его края, а осевшие частицы перемещаются шнеком в противоположном направлении. При этом струя суспензии попадает в зону, где осадок уже сформировался, размывает его и уносит с собой часть взмученной твердой фазы.

В прямоточной центрифуге (рис. 1.5) суспензия вводится в ротор у его широкого края, где еще нет осадка, поэтому взмучивание осевших частиц твердой фазы не происходит. Вдоль ротора суспензия течет в том же направлении, что и осадок. В зоне перехода цилиндра ротора в конус осветленная жидкость через специальные сопла, расположенные в цилиндрической части ротора и заглубленные внутрь его на определенную

величину, отводится из ротора. Таким образом, степенью заглубления сопел в ротор устанавливается требуемый уровень (зеркало) слива жидкой фазы.

Шнековая центрифуга прямоточной конструкции позволяет в 1,5—2 раза повысить производительность машины при тех же габаритах за счет интенсификации гидродинамики потока в роторе. Транспортировка частиц твердой фазы вдоль всей длины ротора способствует получению более плотного, и, следовательно, менее влажного осадка.

Для обезвоживания и сгущения бурового раствора создана центрифуга ОГШ-501 К-10 (рис. 1.5). Отличительными особенностями ее конструкции являются удлиненный противоточный ротор, мягкий ввод суспензии в ротор, подача суспензии под зеркало жидкости.



1 – станина; 2 – планетарный редуктор; 3 – механизм защиты редуктора; 4 – кожух;  
5 – ротор; 6 – шнек; 7 – приводные ремни; 8 – труба питания

Рисунок 1.5 – Центрифуга ОГШ-501К-10

Для эффективного разделения суспензии кроме высокого значения фактора разделения необходимо обеспечить также оптимальную относительную скорость вращения шнека, т. е. в зависимости от свойств продукта необходимо подобрать соответствующее передаточное отношение редуктора. Изменять передаточное отношение планетарного редуктора можно путем вращения валика солнечной шестерни, которая при обычной схеме работы редуктора неподвижна. Для вращения валика в центрифуге применен дополнительный привод. Таким образом, имеется возможность выбора оптимальных значений относительной скорости шнека и использования центрифуги на оптимальных режимах.

## **1.2 Проблемы центрифуги для очистки бурового раствора**

### **1.2.1 Проблемы при эксплуатации центрифуги**

Анализируя зависимости основных эксплуатационных характеристик, можно увидеть, что фактор разделения является не единственным показателем очистной способности и производительности центрифуг. В формулу индекса производительности входят диаметр и длина ротора, т.е. в неявном виде его объем и, следовательно, время нахождения раствора в центробежном поле. Этим и объясняется достаточно высокая очистная способность более низкооборотных центрифуг, имеющих фактор разделения существенно ниже, чем у зарубежных образцов.

Очистная способность зарубежных центрифуг несколько выше, но из опыта эксплуатации центрифуг выявился еще один фактор — производительность по выделению шлама. При высокоскоростном бурении содержание шлама в буровом растворе велико и для исключения забиваемости шламом ротора подача бурового раствора в центрифугу должна быть ограничена.

Исходя из формулы 1.2 также видно, что значительное влияние на работу центрифуги для очистки бурового раствора оказывает частота вращения ротора. Чем больше частота вращения, тем выше фактор разделения, а, следовательно, буровой раствор лучше очищается от выбуренной породы. Но при увеличении числа оборотов вала резко увеличивается износ оборудования и снижается срок службы.

Важнейшим критерием для центрифуг является критерий виброустойчивости, с одновременным выполнением условий прочности и жесткости вала.

Если угловая скорость  $\omega$  приближается к так называемому критическому значению  $\omega_{кр}$ , то прогиб вала (а вместе с ним углы поворота сечений вала реакции опор) становится значительным и может оказаться аварийным.

Так же большое внимание уделяют регулированию содержания и состава твердой фазы с помощью центрифуги.

Это позволяет не только существенно повысить скорости бурения, но и значительно уменьшить расход долот и затраты на запасные части к оборудованию (насосам, вертлюгам, гидроциклонам, центрифугам и др.).

### **1.2.2 Проблемы выбора оптимальной модели**

Определяющие факторы при выборе центрифуг — стоимость, степень очистки, надежность, простота эксплуатации и ремонта.

Степень очистки зависит от диаметра, длины и частоты вращения ротора. Обычно при бурении используются центрифуги с частотой вращения не более 2000-2200 об/мин, т.к. работа на более высоких скоростях резко увеличивает износ и снижает срок службы. Производительность центрифуг по раствору является побочным фактором, завышаемым многими фирмами в рекламных

целях. Её увеличение резко уменьшает качество очистки, т.к. склонный к диспергированию мелкий шлам остается в буровом растворе. Регулирование производительности центрифуги осуществляется простым изменением подачи питающего насоса.

При выборе типа и размера центрифуги для разделения конкретной суспензии в практике встречаются три случая:

- на данном продукте машина работает, тип центрифуги удовлетворяет заказчика, необходима машина большей производительности;
- используются центрифуги периодического действия, необходимы центрифуги непрерывного действия;
- данный продукт на центрифугах не образуется.

В первом случае задача решается просто: размер машины определяется расчетным путем по экспериментальным данным работающего образца.

Во втором и третьем случаях работа выполняется в два этапа – вначале выбирается тип центрифуги, а затем расчетным путем определяются ее размеры. Наиболее сложным является третий случай, в котором результаты предварительного выбора центрифуги подлежат экспериментальной проверке.

Современное состояние теории процессов центрифугирования не дает возможность применить строго научную методику выбора типа центрифуги.

Однако опыт эксплуатации центрифуг позволяет выявить некоторые взаимосвязи между отдельными характеристиками суспензии и областью применения определенного типа центрифуг.

### **1.2.3 Признаки, влияющие на выбор способа разделения суспензии и характера протекания процесса**

Решающее значение при выборе центрифуги для очистки бурового раствора имеет дисперсионный состав твердой фазы. Чем мельче частицы твердой фазы в обрабатываемой суспензии, тем меньшей производительности центрифуги можно ожидать и тем большим должен быть фактор разделения. С другой стороны, от абсолютного содержания мелких частиц в суспензии зависит количество их в фугате (фильтрате).

В данном случае используется понятие крупности разделения, то есть тот минимальный диаметр частиц, который можно разделить на данном типе центрифуги.

Разность плотностей фаз. При центробежном фильтровании этот признак существенного значения не имеет. Осадительные центрифуги предназначены для разделения суспензий, у которых разность плотностей твердой и жидкой фаз положительна.

Гидравлическая крупность разделения. Характеризует скорость осаждения в поле тяжести частиц, соответствующую крупности разделения (учитывается вязкость жидкости).

Концентрация суспензии по объему. Для осадительных центрифуг определяющим показателем является верхний предел концентрации, для фильтрующих центрифуг непрерывного действия – нижний предел. Для всех

фильтрующих центрифуг и центрифуг типа ОГШ в качестве верхнего предела устанавливается концентрация по объему 50 – 60 %. Фильтрующие центрифуги периодического действия могут работать при низких концентрациях, но это экономически не выгодно. Перед подачей на центрифуги их предварительно сгущают до концентрации 20 – 30 %.

#### **1.2.4 Признаки, влияющие на выбор типа машины и способа выгрузки осадка**

Растворимость осадка существенно не влияет на работу осадительных центрифуг, они могут выбираться без учета этого признака.

Абразивные свойства твердой фазы влияют на абразивный износ соприкасающихся с продуктом деталей центрифуги.

Для выбора конструктивной модификации центрифуги необходимо учитывать такие признаки, как:

а) температура суспензии – три группы:

I – до 80 С (применяются центрифуги всех типов);

II – от 80 до 100 С;

III – свыше 100 С.

Для II и III групп применяются только специальные конструкции.

б) огне- и взрывоопасность суспензии (во взрывоопасных производствах необходимо учитывать категорию помещения);

в) плотность твердой фазы учитывается с точки зрения обеспечения прочности ротора машины.

Характерным для этого признака по мере увеличения плотности частиц является переход от центрифуг, работающих при больших значениях толщины осадка, к центрифугам, у которых разделение проходит в сравнительно тонком слое.

Для выбора центрифуги, кроме свойств суспензии, необходимо знать ряд признаков, отражающих требования потребителя к центрифуге и продуктам разделения:

а) технологическое назначение центрифуги – для осветления суспензий, обезвоживания осадка, разделения эмульсий, классификация твердой фазы по плотности и крупности;

б) производительность центрифуги по суспензии и осадку;

в) требования к материалам узлов и деталей;

г) необходимость обогрева или охлаждения машины и т. д.

С учетом изложенных выше факторов по справочной литературе определяется группа типов и размеров центрифуг, пригодных для обработки данного продукта, и проводится оценка предпочтительности их применения.

Выбранный тип и размер центрифуги рекомендуется потребителю в качестве опытной с обязательной проверкой ее работы в конкретных условиях технологического процесса.

Так как центрифуги представляют собой быстроходные машины, то они требуют квалифицированного обслуживания. Главное внимание уделяется

вращению ротора. При нарушении балансировки, когда появляется заметная вибрация или шум, необходима немедленная остановка для выяснения причин.

### 1.2.5 Проблемы надежности

Стойкость центрифуг для очистки бурового раствора определяется временем, в течение которого центрифуги для очистки бурового раствора изнашиваются до предельного состояния, когда его дальнейшее применение недопустимо и нецелесообразно. Стойкость измеряется в часах и зависит от таких же факторов, как и износ. На износ и, следовательно, на стойкость центрифуг для очистки бурового раствора наибольшее влияние оказывают частота вращения ротора, осевые нагрузки, качество бурового раствора.

Надежность машин, находившихся определенное время в эксплуатации, ниже, чем новых или капитально отремонтированных, так как в процессе эксплуатации детали непрерывно изнашиваются, что сопровождается возникновением дополнительных динамических нагрузок и вибраций, снижающих запас прочности деталей, в результате чего возможность различных отказов и поломки возрастает.

Исходя из ГОСТов на центрифуги для очистки буровых растворов, показатели надежности представлены в таблице 1.2

Таблица 1.2 – Показатели надежности центрифуг для очистки бурового раствора

Наименование показателей, размерность	Наименование конкретной продукции			
	Центрифуги маятниковые	Центрифуги промышленные	Центрифуги для обезвоживания	
			фильтрующие	осадительные и комбинированные
Установленная безотказная наработка, ч, не менее	2000	1600	500	1450
Средний ресурс до капитального ремонта, ч, не менее	17000	20000	18000	

Средний срок службы не менее 5 – 8 лет.

Для центрифуг, предназначенных для обработки сред со скоростью коррозии более 0,1 мм в год, показатели надежности могут быть уменьшены.

Надежность работы центрифуг и повышение срока их службы во многом зависит от выделения из обезвоженного осадка крупных и абразивных включений.

При использовании центрифуг в несколько раз возрастает межремонтный период насосного оборудования, увеличивается стойкость долот.



Стойкость центрифуг для очистки бурового раствора в большей степени зависит от физико-механических свойств и качества используемых материалов, точности изготовления, монтажа, и других конструктивных и технологических факторов. По уровню нагрузок, сочетанию различных видов износа (абразивного, коррозионного, усталостного) центрифуги для очистки бурового раствора находятся в неблагоприятных условиях.

Важными факторами, влияющими на износ, являются характер и род смазки. Разделение трущихся поверхностей с помощью смазки способствует значительному снижению их износа.

Работоспособность центрифуг для очистки бурового раствора определяется в основном стойкостью шнека и барабана так как данные детали больше всего подвержены износу.

В процессе работы центрифуги для очистки бурового раствора испытывают статические и динамические нагрузки. В условиях повышенных температур это приводит к локальным концентрациям контактных напряжений, разрыву масляной пленки и схватыванию трущихся поверхностей, в результате чего снижается ресурс подшипников и возникает опасность заклинивания вращающихся деталей. Этому способствуют также перекосы валов.

Вал центрифуги имеет высокую надежность в отличие от других деталей. Интенсивность отказов вала во много раз ниже интенсивности отказов уплотнений и подшипников. Возможность разрушения вала центрифуги независимо от других компонентов весьма мала. Тем не менее, вал центрифуги подвержен серьезным нагрузкам и необходимо подбирать правильный режим работы центрифуги, чтобы не допустить высоких нагрузок, которые могут вызвать микротрещины, изгибы, забоины и его повышенный износ. Устойчивая работа вала нарушается тогда, когда скорость его вращения приближается к критической и наступает резонанс.

Подшипники наиболее уязвимая часть центрифуги. Хотя они и являются недорогими компонентами, но выход из строя центрифуги по их вине ведет к дорогостоящему простоя всей циркуляционной системы, который может привести к значительным затратам, либо к ухудшению качества очистки бурового раствора. Короткий срок службы подшипников в центрифуге вызван рядом проблем, таких как разбалансировка ротора, недостаток смазки, чрезмерная температура.

Срок службы подшипника определяется количеством часов, в течение которых наступает «усталость металла», количеством оборотов подшипника, наличием и количеством смазки. Когда подшипник находится под давлением при вращении вала, нагрузка передается с внутреннего кольца подшипника через элементы качения на внешнее кольцо. Каждый шар несет часть нагрузки, в конечном итоге это приводит к усталости всех металлических частей.

Когда центрифуга работает с максимальной эффективностью, подшипники должны выдерживать следующие нагрузки:

- массу узла вращения в сборе,
- напряжение, возникшее в процессе подгонки подшипника к валу,

– любой предварительный натяг подшипника, обусловленный производителем.

В действительности, большинство подшипников становятся неисправными по следующим причинам:

– неправильный подбор подшипника к валу (несоблюдение допусков);

– отсутствие соосности между ротором центрифуги и ее ведущим шкивом;

– деформация валов;

– несбалансированность вращающихся элементов;

– термическое расширение вала;

– бесполезная попытка охладить подшипники, заливая в корпус подшипника воду из шланга или любую другую жидкость. Охлаждение внешней поверхности подшипника служит причиной высыхания смазки подшипника и ухудшения его рабочих свойств, увеличивает трение и создает дополнительную нагрузку на подшипник;

– деформация корпуса подшипника,

– вибрации всех видов,

– установка некачественного подшипника, что становится серьезной проблемой в связи с ростом производства поддельных подшипников.

Из-за перегрузки подшипник начинает нагреваться (свыше 70 °С), а нагрев, в свою очередь, является другой частой причиной преждевременного выхода подшипника из строя. Уменьшение вязкости смазочных материалов в результате нагревания приводит к тому, что подшипник теряет способность нести нагрузку. Так же излишняя смазка, как и недостаточная, вызывает перегрев.

В процессе эксплуатации центрифуг не исключено ослабление посадок подшипников качения. При этом может наблюдаться износ от проворачивания внутреннего кольца подшипника относительно шейки вала или наружного кольца относительно отверстия корпуса.

Так же наиболее часто выходят из строя уплотнения. Основным фактором влияющим на выход из строя уплотнений валов являются, прежде всего, условия эксплуатации. Уплотнение достаточно быстро выходит из строя в том случае, когда для него не обеспечены необходимые и обязательные условия эксплуатации. Поэтому уплотнения не могут работать при любых условиях эксплуатации.

В резьбовых соединениях чаще всего изнашивается профиль резьбы, что приводит к увеличению зазора в них. Износ соединений – результат недостаточной или, наоборот, чрезмерной затяжки винтовых гаек. Он особенно значителен в тех случаях, когда работающее соединение воспринимает большие или знакопеременные нагрузки. Быстро выходят из строя также часто разбираемые и регулируемые узлы.

Наиболее ответственными резьбовыми соединениями являются места крепления ротора (толкателя) на валу, привода на станине или металлоконструкции, цилиндров на кожухе, кожуха на станине.

Ротор центрифуги в процессе работы подвергается большим нагрузкам, коррозии и износу. Это приводит к появлению износа, трещин в сварных швах и околошовных зонах. Так же при загрузке или разгрузке центрифуги жидкость или твердый осадок могут распределяться по поверхности барабана неравномерно, что нарушает устойчивость ротора.

Конструкция барабана центрифуг зависит от его технологического назначения, способа центрирования и системы выгрузки осадка.

Значительный износ корпуса барабана и других деталей ротора и наличие трещин на них неизменно приводят к нарушению балансировки, признаком чего является заметная на глаз вибрация.

В шнеках наибольшему абразивному износу в процессе эксплуатации подвержены витки и загрузочные втулки. Данные детали изнашиваются вследствие трения об их стенки бурового раствора с абразивными включениями, а именно частицами выбуренной породы. А так же в результате разности частоты вращения шнека в роторе.

В процессе эксплуатации редуктора чаще всего выходят из строя солнечные шестерни, сателлиты, втулки и шайбы, подшипники, манжеты и резиновые кольца уплотнений.

### 1.2.6 Основные проблемы центрифуг для очистки бурового раствора

Центрифуги для очистки бурового раствора имеют ряд проблем, связанных с различными факторами при эксплуатации. В таблице 1.3 представлены основные неисправности центрифуг для очистки бурового раствора, которые появляются в течение эксплуатации данного оборудования.

Данные неисправности наиболее часто проявляются в центрифугах для очистки бурового раствора во время её эксплуатации. Исходя из этих неисправностей можно выделить детали, которые наиболее часто выходят из строя, либо подвержены наибольшему износу. А, следовательно, повышение надежности этих деталей повысит надежность центрифуг в целом.

Таблица 1.3 – Основные неисправности центрифуг для очистки бурового раствора

Неисправность	Причина
Сильная вибрация центрифуги	Нарушена балансировка вследствие неправильной сборки центрифуги
	Продукт неравномерно распределен в роторе
	Вышли из строя подшипники ротора или шнека
	Биение редуктора
При работе шнек не проворачивается, продукт не выгружается	Сломана солнечная шестерня редуктора

### Окончание таблицы 1.3

Неисправность	Причина
Течь масла из редуктора	Вышли из строя резиновые манжеты
Повышенный унос продукта с фильтратом	Износ или механическое повреждение сит
Значительное увеличение влажности осадка	Утолщение слоя осадка на ситах вследствие износа витков шнека
Центрифуга не набирает нужного числа оборотов	Слабо натянуты приводные ремни
Сильно нагревается масло	Отсутствует или недостаточна подача охлаждающей воды
Повысилась температура подшипников	Забилась дроссели подачи масла к подшипникам
Время разгона ротора больше, чем при обычном пуске	Износились колодки центробежной муфты
Время загрузки больше обычного	Забился продуктом клапан или труба загрузки
Усиленная течь масла в торцовой муфте	Неплотное прижатие бронзовой втулки
	Износились сопрягаемые поверхности бронзовой втулки или кольца
	Износились резиновые кольца

### 1.3 Заключение к литературному обзору и постановка задачи

В ходе выполнения литературного обзора был выполнен аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников по теме работы, который представлен в приложении А.

Изучены особенности эксплуатации центрифуги для очистки бурового раствора, в частности: назначение оборудования, принцип работы, технические характеристики центрифуг. Проведён сравнительный анализ существующих конструкций центрифуг для очистки бурового раствора.

В ходе анализа было выявлено, что в бурении применяются центрифуги типа ОГШ 35 и ОГШ 50. В меньшей степени центрифуги типа ОГШ 32.

Основными проблемами центрифуги для очистки бурового раствора являются: быстрый износ шнека и ротора; невысокая степень обезвоживания осадка; высокие энергозатраты; высокая стоимость при использовании зарубежных центрифуг.

Данные проблемы центрифуги для очистки бурового раствора решаются за счет изменения конструкции шнека и сопла для выхода жидкой фазы, установкой дополнительных перегородок в корпусе ротора; установкой дополнительных защитных конструкций на витки шнека.

Таким образом, в ходе дальнейшей работы по модернизации центрифуги для очистки бурового раствора необходимо выполнить следующие задачи:

- разработать техническое предложение по модернизации центрифуги для очистки бурового раствора и предложить вариант конструкции модернизированной детали;
- выполнить расчет основных параметров центрифуги;
- разработать мероприятия по антикоррозионной защите центрифуги;

– разработать мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту центрифуги.

## 2 Конструкторско – технологический раздел

### 2.1 Техническое задание на модернизацию конструкции центрифуги для очистки бурового раствора

#### 1) Назначение

Центрифуга для очистки бурового раствора предназначена для контроля твердой фазы в буровом растворе, а также для регенерации барита из утяжеленных буровых растворов, что позволяет повысить степень очистки бурового раствора и тем самым сократить расход химических реагентов на приготовление и обработку буровых растворов.

#### 2) Область применения

Центрифуги для очистки бурового раствора используются для комплектации блоков очистки бурового раствора циркуляционных систем буровых установок. Они необходимы в процессе проведения безамбарного бурения, когда выбуренная порода, содержащая экологически вредные присадки, не складывается на месте, а подвергается обезвоживанию и вывозится на полигон.

#### 3) Технические характеристики

- производительность центрифуги –  $130 \text{ м}^3/\text{смену}$  и  $16,25 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- плотность фугата –  $1018 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- плотность осадка -  $1100 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- диаметр частиц -  $7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;
- мощность электродвигателя – 22 кВт;
- габаритные размеры: высота – 1020 мм, ширина – 1493 мм, длина – 2625мм;
- масса - 1600 кг;
- материал изготовления:
- кожух – листовая сталь;
- ротор и шнек – сталь 12Х18Н10Т с коррозионно-стойкими наплавками;
- вал - сталь 40ХФА.

#### 4) Требования к конструкции и комплектации

Центрифуга для очистки бурового раствора является сепаратором деканторного типа со шнековой выгрузкой осадка.

Подающая труба проходит внутри ротора и шнека через пустотелую ось на коническом торце ротора. Отверстия для слива раствора и выброса породы находятся на концах ротора и выполнены из силицированного графита.

Уплотнение центрифуги – лабиринтное, манжетное. Опорами ротора центрифуги служат шарикоподшипники с консистентной смазкой.

#### Комплектация поставки:

- центрифуга в сборе со станиной;
- электродвигатель;
- вспомогательный двигатель;

- запасные части, инструмент и принадлежности;
- эксплуатационная и техническая документация.

#### 5) Требования к надежности

Гарантийный срок на оборудование устанавливается заводом изготовителем, но не менее 12 месяцев со дня поставки товара заказчику.

## 2.2 Техническое предложение

В результате изучения устройства центрифуги для очистки бурового раствора, сравнения её с аналогами, а также изучение материала, в котором описывались проблемы при эксплуатации центрифуг, и проведения патентно-информационного поиска мной разработано мероприятие по улучшению работы центрифуги и её энергоэффективности. А, именно, было принято решение о применении новой конструкции сопла для выхода жидкой фазы к центрифуге для очистки бурового раствора.

В качестве прототипа использовалась модель из авторского свидетельства №2428259. Данная конструкция поможет снизить потребление энергии на 20%, позволит преобразовать и использовать часть кинетической энергии отводимой из барабана жидкости таким образом, чтобы она способствовала вращению барабана. Установка сопел приведет к уменьшению скорости движения отводимой жидкости и, соответственно, к снижению общей потребляемой энергии. Также данная конструкция предотвратит налипание частиц бурового раствора на кромку выходного отверстия, которое приводит к повышению уровня жидкой фазы в барабане центрифуги, и как следствие повышению влажности выходящей твердой фазы.

На рисунке 2.1 представлена 3D модель сопла для выхода жидкой фазы, выполненная в Компас-3D.

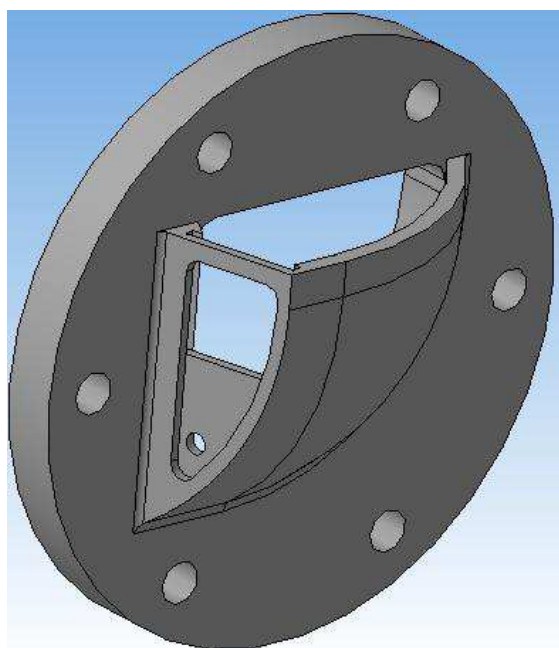


Рисунок 2.1 – 3D модель сопла для выхода жидкой фазы

## 2.3 Расчетная часть

### 2.3.1 Исходные данные

Производительность суспензии с содержанием 8% сухих веществ  $V_c = 130 \text{ м}^3/\text{смену}$ .

Плотность фугата  $\rho_\phi = 1018 \text{ кг/м}^3$ .

Коэффициент динамической вязкости жидкости при  $t = 10^\circ\text{C}$   $\mu = 0,002 \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

Плотность осадка  $\rho_{oc} = 1100 \text{ кг/м}^3$ .

Диаметр частиц  $d_{\text{ч}} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

### 2.3.2 Технологическая часть

Центрифуги являются классификаторами, разделяющими твердую фазу суспензии на два класса. В слив (с фугатом) уходят преимущественно частицы с размерами от нуля до величины крупности разделения; в осадке остаются частицы с размерами больше крупности разделения.

Под крупностью разделения понимают такой бесконечно узкий класс частиц, вероятность попадания которых как в осадок, так и в слив одинакова.

Крупность разделения ориентировочно может быть определена по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{9 \cdot V_c \cdot \mu_c}{\pi \cdot r^2 \cdot L \cdot \omega^2 \cdot (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{Ж}})}}, \quad (2.1)$$

где  $V_c$  – расход подаваемой в центрифугу суспензии в  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$r$  – внутренний радиус слоя суспензии в м;

$L$  – длина внутреннего слоя суспензии в м;

$\omega$  – угловая скорость вращения ротора в рад/с;

$\rho_{\text{ТВ}}, \rho_{\text{Ж}}$  – плотность твердой и жидкой фаз в  $\text{кг/м}^3$ .

При 8-часовой смене:

$$V_c = \frac{130}{8} = 16,25 \text{ м}^3/\text{ч} = 4,51 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Формула (2.1) позволяет рассчитать угловую скорость вращения ротора  $\omega$  при выбранной крупности разделения  $d$ .

$$\omega = \sqrt{\frac{9 \cdot V_c \cdot \mu_c}{\pi \cdot r^2 \cdot L \cdot d^2 \cdot (\rho_{\text{ТВ}} - \rho_{\text{Ж}})}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 4,51 \cdot 10^{-4} \cdot 0,002}{3,14 \cdot 0,35^2 \cdot 1 \cdot (7 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1100 - 1018)}} = 229 \text{ рад/с}.$$

Частота вращения ротора:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 229}{3,14} = 2190 \text{ об/мин}.$$

Внутренний радиус и длина слоя суспензии определяются положением сливных окон на крышке широкой части ротора.

Объем осадка, который должен быть получен в результате работы центрифуги за один час, рассчитывается из отношения объема осадка  $V_{oc}$  к



объему суспензии  $V_c$ , который надо пропустить через центрифугу в течение одного часа:

$$U = \frac{V_{oc}}{V_c}. \quad (2.2)$$

Тогда

$$V_{oc} = U \cdot V_c. \quad (2.3)$$

$$U = \frac{X_m}{1-W} \cdot \frac{\rho_m + (1-W) \cdot (\rho_{ж} - \rho_m)}{\rho_m + X_m \cdot (\rho_{ж} - \rho_m)} = \frac{0,08}{1-0,07} \cdot \frac{1100 + (1-0,07) \cdot (1018 - 1100)}{1100 + 0,08 \cdot (1018 - 1100)} = 0,0805, \quad (2.4)$$

где  $X_m$  – массовая концентрация твердой фазы в исходной суспензии, по заданию  $X_m = 0,08$  кг/кг;

$W$  – массовая концентрация жидкой фазы в осадке, принимаем по [30]  $W = 0,07$  кг/кг.

$$V_{oc} = 0,0805 \cdot 16,25 = 1,31 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Масса осадка, которая будет получена за час работы центрифуги:

$$M_{oc} = V_{oc} \cdot \rho_{oc} = 1,31 \cdot 1100 = 1440 \text{ кг}. \quad (2.5)$$

### 2.3.3 Расчет потребляемой мощности центрифуги

Энергетический расчет центрифуги сводится к определению следующих составляющих мощности:

- на сообщение массе загружаемой суспензии кинетической энергии  $N_c$ ;
- на трение ротора о воздух  $N_1$ ;
- на преодоление трения в подшипниках  $N_2$ ;
- на перемещение осадка вдоль образующей ротора  $N_3$ ;
- на преодоление трения осадка о лопасти шнека  $N_4$ ;
- на потери в редукторе  $N_5$ .

Мощность, затрачиваемая на сообщение кинетической энергии суспензии, подаваемой в ротор центрифуг,

$$N_c = \frac{V_c \cdot \rho_c \cdot w^2}{2 \cdot 10^3} \text{ [кВт]}, \quad (2.6)$$

где  $V_c$  – расход подаваемой суспензии в  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\rho_c$  – плотность суспензии в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$w$  – окружная скорость ротора в  $\text{м}/\text{сек}$ .

Окружная скорость рассчитывается по формуле:

$$w = \omega \cdot R, \quad (2.7)$$

где  $R$  – внутренний наибольший радиус ротора в м;

$\omega$  – угловая скорость ротора в рад/с.

$$R = \frac{D}{2} = \frac{0,35}{2} = 0,175 \text{ м.} \quad (2.8)$$

$$w = 229 \cdot 0,175 = 40,1 \text{ м/с.}$$

$$N_c = \frac{4,51 \cdot 10^{-4} \cdot 1018 \cdot 40,1^2}{2 \cdot 10^3} = 0,369 \text{ кВт.}$$

Мощность, затрачиваемую на трение ротора о воздух, учитывая замкнутый объем ротора и наличие его конической части, можно определить по формуле:

$$N_1 = 14 \cdot 10^{-6} \cdot \omega^3 \cdot R^4 \cdot [l_{\text{ц}} + 0,2 \cdot l_{\text{к}} \cdot (1 + a + a^2 + a^3 + a^4)], \quad (2.9)$$

где  $l_{\text{ц}}$  – длина цилиндрической части ротора в м;

$l_{\text{к}}$  – длина конической части ротора в м,

$a = \frac{r_1}{R}$  – отношение радиусов конической части ротора.

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 11^\circ 3' = 0,194. \quad (2.10)$$

$$l_{\text{к}} = \frac{D}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,35}{\operatorname{tg} 11^\circ 3'} = 1,8 \text{ м.} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} N_1 &= 14 \cdot 10^{-6} \cdot 229^3 \cdot 0,175^4 \cdot \left[ 1 + 0,2 \cdot 1,8 \cdot \left( 1 + 0,194 + 0,194^2 \right) \right. \\ &\quad \left. + 0,194^3 + 0,194^4 \right] = \\ &= 0,228 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Мощность  $N_2$ , учитывающую трение в подшипниках, можно рассчитать по формуле:

$$N_2 = \frac{f_{\text{T}} \cdot (P_1 \cdot d_1 + P_2 \cdot d_2) \cdot \omega}{2 \cdot 10^3} \text{ [кВт]}, \quad (2.12)$$

где  $f_{\text{T}}$  – коэффициент трения в подшипниках. Для подшипников качения  $f_{\text{T}} = 0,0015 \dots 0,006$ . Принимаем  $f_{\text{T}} = 0,0038$ ;

$d_1, d_2$  – диаметры шеек вала под подшипниками, м;

$P_1, P_2$  – динамические нагрузки на опоры, Н.

Динамическая нагрузка на любую опору подшипника:

$$P_i = P_{\text{ст}i} \cdot \left( 1 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \right), \quad (2.13)$$

где  $P_{\text{ст}i}$  – статическая нагрузка на данную опору, Н;

$R$  – внутренний радиус корпуса центрифуги, м;

$\omega$  – угловая скорость вращения ротора в рад/с.

При общей массе центрифуги  $m_{ц} = 1600$  кг ее вес:

$$P_{ц} = m_{ц} \cdot g = 1600 \cdot 9,8 = 15700 \text{ Н.} \quad (2.14)$$

Предварительно принимаем:

$$P_1 = P_2 = \frac{P_{ц}}{2} = \frac{15700}{2} = 7850 \text{ Н.} \quad (2.15)$$

По чертежу  $d_1 = d_2 = 100$  мм = 0,1 м. Тогда

$$N_2 = \frac{0,038 \cdot (7850 \cdot 0,1 + 7850 \cdot 0,1) \cdot 229}{2 \cdot 10^3} = 6,83 \text{ кВт.}$$

Мощность, расходуемая на перемещение осадка вдоль образующей ротора, может быть подсчитана по методике, предложенной Соколовым и Шкоропадом, которая при некоторых допустимых упрощениях сводится к формуле:

$$N_3 = 1,3 \cdot V_{ТВ} \cdot \omega^2 \cdot (\rho_{ТВ} - \rho_{ж}) \cdot r_{ср} \cdot l_{ос} \cdot (\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tgr}), \quad (2.16)$$

где  $V_{ТВ}$  – объем твердой фазы, поступающей с суспензией в центрифугу, м<sup>3</sup>/с;

$r_{ср} = \frac{r_1 + r_2}{2}$  – средний радиус зоны осадка, м;

$l_{ос}$  – длина зоны осадка, м;

$\alpha$  – угол наклона образующей ротора, град;

$\operatorname{tgr} = 0,4 \dots 0,6$  – коэффициент внутреннего трения выгружаемого материала.

Объем твердой фазы определяется из уравнения материального баланса:

$$V_c \cdot \rho_c = V_{ж} \cdot \rho_{ж} + V_{ТВ} \cdot \rho_{ТВ}. \quad (2.17)$$

$$V_{ТВ} = \frac{V_c \cdot \rho_c - V_{ж} \cdot \rho_{ж}}{\rho_{ТВ}} = \frac{16,25 \cdot 1018 - 1,31 \cdot 1000}{1100} = 13,8 \text{ м}^3/\text{ч} = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$N_3 = 1,3 \cdot 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot 229^2 \cdot (1100 - 1018) \cdot 0,175 \cdot 1 \cdot (\operatorname{tg}11^\circ 3' + 0,5) = 2,62 \text{ кВт.}$$

Мощность, необходимая для преодоления трения осадка о лопасти шнека:

$$N_4 = N_3 \cdot \left(1 + \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\beta}\right), \quad (2.18)$$

где  $\operatorname{tg}\delta = 0,3 \dots 0,5$  – коэффициент трения осадка о лопасти шнека;

$\operatorname{tg}\beta = \frac{t}{2 \cdot \pi \cdot r_{ср}}$  – тангенс угла наклона спирали шнека;

$t$  – шаг шнека в м. По чертежу  $t = 75$  мм = 0,075 м;

$r_{ср}$  – средний радиус зоны осадка в м.  $r_{ср} = 260$  мм = 0,26 м.

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{0,075}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,26} = 0,46.$$

$$N_4 = 2,62 \cdot \left(1 + \frac{0,4}{0,46}\right) = 4,89 \text{ кВт.}$$

Согласно произведенной модернизации мы получим то, что часть кинетической энергии от отвода жидкости из барабана будет преобразована и использована таким образом, чтобы она способствовала вращению барабана. Это приведет к уменьшению скорости движения отводимой жидкости и, соответственно, к снижению общей потребляемой энергии.

Мощность затрачиваемая на сообщение кинетической энергии сливу фугату значительно изменилось. После модернизации кинетическая энергия фугата теперь сообщает дополнительную мощность.

Мощность, затрачиваемая на сообщение кинетической энергии сливу и осадку, которые выбрасываются из барабана центрифуги:

$$N_5 = n^2 \cdot \left[ Q_T \cdot \left(1 + \frac{b}{100}\right) \cdot R_K^2 + Q_{сл}^B + R_{сл}^2 \right] \cdot 10^{-9} \text{ [кВт]}, \quad (2.19)$$

где  $R_K$  - радиус расположения окон для выгрузки осадка из барабана центрифуги, м.

Подставив численные значения в формулу получим, что  $N_5 = 0,65$  кВт.

Тогда суммарная расчетная мощность электродвигателя, кВт:

$$N = \frac{\lambda \cdot (N_c + N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5)}{\eta}, \quad (2.20)$$

где  $\lambda = 1,1 \dots 1,3$  – коэффициент запаса мощности, учитывающий возможность заклинивания шнека;

$\eta = 0,9$  – КПД передачи привода.

$$N = \frac{1,2 \cdot (0,369 + 0,228 + 6,83 + 2,62 + 4,89 + 0,65)}{0,9} = 20,8 \text{ кВт.}$$

Выбираем электродвигатель АМУ180М2 с параметрами:  $N = 22$  кВт;  $n = 2940$  об/мин;  $\eta = 0,905$ ;  $d_b = 48$  мм;  $m = 130$  кг.

### 2.3.4 Расчет цилиндрической части ротора

Методика полного расчета на прочность ротора центрифуги предусмотрена РД 26-11-17-88. Проводим поверочный расчет, который в конечном итоге предполагает определение толщины элементов ротора – стенок, днища, бортов.

Роторы центрифуг находятся под воздействием совместного нагружения центробежными силами и давлением жидкости, а вблизи сопряжений обечайки с днищем и бортом и днища со ступицей действуют напряжения от краевых сил и моментов, возникающих в сопряжениях.

В общем случае в стенке обечайки возникают напряжения окружные  $\sigma_t$ , осевые  $\sigma_s$  и радиальные  $\sigma_r$ . Наименьшее из них – радиальное  $\sigma_r$ , сжимающее напряжение на внутренней поверхности обечайки. По абсолютной величине оно равно давлению  $p_{ц}$  от центробежных сил. Наибольшие значения имеют

окружные напряжения  $\sigma_t$ . Осевое напряжение  $\sigma_s$  обусловлено действием давления от центробежных сил на дно и борт ротора. Эта величина имеет некоторое среднее значение. Величиной радиального напряжения в расчетах пренебрегают, считая  $\sigma_r = 0$ . Расчет ведут по третьей теории прочности (по наибольшим касательным напряжениям). Тогда

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_1 - \sigma_3, \quad (2.21)$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – максимальные и минимальные главные напряжения, МПа.

Для ротора центрифуги:

$$\sigma_1 = \sigma_t, \sigma_3 = \sigma_r = 0, \quad (2.22)$$

и тогда

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_t. \quad (2.23)$$

Условие прочности принимает вид:

$$\sigma_t < [\sigma], \quad (2.24)$$

где  $[\sigma]$  - допускаемое напряжение для материала ротора (сталь 12Х18Н10Т).

$$[\sigma] = 360 \text{ МПа.}$$

Будем исходить из того, что ротор заполнен только одним осадком. Тогда порядок расчета следующий.

1) Давление на стенку ротора:

$$p_{\text{ц}} = 13,7 \cdot 10^{-4} \cdot n^2 \cdot \rho_{\text{ос}} \cdot D^2 \cdot \varphi, \quad (2.25)$$

где  $n$  - число оборотов ротора, об/мин;

$\rho_{\text{ос}}$  - плотность осадка, кг/м<sup>3</sup>;

$D$  - диаметр барабана, м;

$\varphi$  - коэффициент прочности.

Произведем расчет по формуле (2.24):

$$p_{\text{ц}} = 13,7 \cdot 10^{-4} \cdot 2190^2 \cdot 1100 \cdot 0,35^2 \cdot 0,761 = 6,74 \cdot 10^5 \text{ Па} = \\ = 0,674 \text{ МПа.}$$

2) Распределенная центробежная сила от собственной массы обечайки ротора:

$$q = 27,4 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot s \cdot n^2 \cdot (D + s), \quad (2.26)$$

где  $\rho_{\text{м}}$  – плотность материала ротора, кг/м<sup>3</sup>;

$s$  - толщина обечайки, м.

$$q = 27,4 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 2190^2 \cdot (0,35 + 9 \cdot 10^{-3}) = 585 \text{ кН.}$$

3) Окружное напряжение  $\sigma_t$  по уравнению Лапласа:

$$\sigma_s \cdot s/R_1 + \sigma_t \cdot s/R_2 = -Z, \quad (2.27)$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – главные радиусы кривизны срединной поверхности ротора, м;  
 $Z$  – проекция внешней распределенной нагрузки на ось, нормальную к срединной поверхности.

Для цилиндрического ротора  $R_1 = \infty$ , а  $R_2 = (D + s)/2$ .

Тогда

$$\frac{2 \cdot \sigma_t \cdot s}{D+s} = p_{\text{ц}} + q, \quad (2.28)$$

а с учетом ослабления тела барабана ротора:

$$\sigma_t = \frac{(D+s) \cdot (p_{\text{ц}} + q)}{2 \cdot s \cdot \lambda}. \quad (2.29)$$

$$\sigma_t = \frac{(0,35 + 9 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,674 + 585)}{2 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 0,76} = 15,4 \text{ МПа.}$$

4)  $\sigma_t = 15,4 \text{ МПа} < [\sigma] = 360 \text{ МПа}$ . Условие прочности выполняется.

5) Исполнительная толщина стенки ротора с учетом компенсационной прибавки на коррозию и эрозию составит:

$$s_{\text{ц}} = s + c, \quad (2.30)$$

где  $c$  – прибавка на компенсацию коррозии, м.

Она определяется из равенства:

$$c = \Pi \cdot t_{\text{сл}}, \quad (2.31)$$

где  $t_{\text{сл}}$  – срок службы машины, в годах (10...15 лет);

$\Pi$  – скорость коррозии в мм/год. При  $\Pi \leq 0,05$  принимают  $c = 1 \text{ мм}$ .

$$s_{\text{ц}} = 9 + 1 = 10 \text{ мм.}$$

6) Толщину плоского борта или днища определяется из соотношения:

$$s_{\text{д}} = 1,5 \cdot s_{\text{ц}} = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ мм.} \quad (2.32)$$

7) Толщина цилиндра ротора в месте стыка с днищем и бортом:

$$s_{\text{ст}} = (1,1 \dots 1,15) \cdot s_{\text{ц}} = 1,125 \cdot 10 = 11 \text{ мм.} \quad (2.33)$$

8) Допускаемая частота вращения ротора:

$$[n] = \frac{318,470}{D} \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot [\sigma] \cdot 4 \cdot s \cdot 10^6}{\rho_{\text{пр}} \cdot (\rho_{\text{ос}} \cdot D \cdot \varphi + 4 \cdot s)}} = \frac{318,470}{0,35} \cdot \sqrt{\frac{0,76 \cdot 360 \cdot 4 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{7450 \cdot (1100 \cdot 0,35 \cdot 0,915 + 4 \cdot 9 \cdot 10^{-3})}} = 1760 \text{ с}^{-1}. \quad (2.34)$$

### 2.3.5 Расчет цилиндрической части ротора

Минимально необходимая толщина сплошного конического ротора:

$$s_{\text{к}} = \frac{\sigma_0 \cdot \lambda \cdot \psi_{\text{к}} \cdot R_{\text{к}}}{2 \cdot ([\sigma] \cdot \varphi - \sigma_0) \cdot \cos \alpha} + C + C_1, \quad (2.35)$$

где  $\sigma_0$  – напряжение в конической обечайке от центробежных сил инерции собственных масс, МПа;

$\lambda = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho}$  – коэффициент;

$\rho_{\text{ж}}$  – плотность центрифугируемого продукта, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность материала ротора, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi_{\text{к}} = \frac{R_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2}{R_{\text{к}}}$  – коэффициент;

$R_{\text{к}}, r_{\text{к}}$  – внутренний радиус соответственно широкого и узкого краев конического ротора, м;

$\alpha$  – половина угла раствора конуса.

Согласно чертежу  $R_{\text{к}} = 0,35$  м;  $r_{\text{к}} = 0,27$  м;  $\alpha = 11^\circ$ . Тогда

$$\lambda = \frac{1018}{7800} = 0,131.$$

$$\psi_{\text{к}} = \frac{0,35^2 - 0,27^2}{0,35} = 0,142.$$

$$\sigma_0 = 1,12 \cdot 10^{-6} \cdot \rho \cdot g \cdot R_{\text{к}}^2 \cdot n^2 = 1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \cdot 9,8 \cdot 0,35^2 \cdot 2190^2 = 5390 \text{ Па} = 5,39 \text{ кПа}. \quad (2.36)$$

$$s_{\text{к}} = \frac{5,39 \cdot 0,131 \cdot 0,142 \cdot 0,35}{2 \cdot (360 \cdot 0,9 - 5,39) \cdot \cos 11^\circ} + 0,001 + 0,0006 = 1,66 \text{ мм}.$$

Конструктивно принимаем толщину стенки конической части равной толщине цилиндрической части:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{ц}} = 10 \text{ мм}.$$

### 2.3.6 Расчет клиноременной передачи

Мощность на валу электродвигателя  $P_1 = 20,0$  кВт.

1) Передаточное число клиноременной передачи:

$$u_{\text{кл}} = \frac{n_{\text{д}}}{n_{\text{р}}} = \frac{2940}{2190} = 1,34. \quad (2.37)$$

2) Угловая скорость быстроходного шкива:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_d}{30} = \frac{3,14 \cdot 2940}{30} = 308 \text{ рад/с.} \quad (2.38)$$

Момент на быстроходном валу:

$$M_1 = 1000 \cdot \frac{P_1}{\omega_1} = 1000 \cdot \frac{20,0}{308} = 65,0 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.39)$$

При данном моменте рекомендуется сечение ремня Б с размерами:  $b_p = 14 \text{ мм}$ ;  $h = 10,5 \text{ мм}$ ;  $A_1 = 138 \text{ мм}^2$  [31, с. 229, табл. 8.3].

3) Расчетный диаметр меньшего шкива, мм:

$$d_m = C \cdot \sqrt[3]{M_1}, \quad (2.40)$$

где коэффициент  $C = 38 \dots 42$  для клиновых ремней нормального сечения [31, с. 237].

$$d_m = 40 \cdot \sqrt[3]{65} = 160 \text{ мм.}$$

Принимаем по ГОСТ 20889-88  $d_m = 160 \text{ мм}$ , что больше минимально допустимого  $d_m = 125 \text{ мм}$  [32, т. 2, с. 794].

4) Диаметр большего шкива:

$$d_6 = d_m \cdot u_{кл} = 160 \cdot 1,34 = 214 \text{ мм.} \quad (2.41)$$

Принимаем по ГОСТ 20889-88 диаметр  $d_6 = 224 \text{ мм}$  [32, т. 2, с. 796].

5) Скорость ремня:

$$v = \frac{\omega_1 \cdot d_m}{2 \cdot 1000} = \frac{308 \cdot 160}{2 \cdot 1000} = 24,6 \text{ м/с.} \quad (2.42)$$

б) Угловая скорость ведомого вала:

$$\omega_2 = \frac{d_m \cdot \omega_1 \cdot (1 - \varepsilon)}{d_6}, \quad (2.43)$$

где  $\varepsilon = 0,02$  – коэффициент скольжения.

$$\omega_2 = \frac{160 \cdot 308 \cdot (1 - 0,02)}{224} = 216 \text{ рад/с.}$$

7) Передаточное отношение:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{308}{216} = 1,43. \quad (2.44)$$

8. Окружная сила:



$$F_t = \frac{2 \cdot M_1 \cdot 1000}{d_M} = \frac{2 \cdot 65 \cdot 1000}{160} = 813 \text{ Н.} \quad (2.45)$$

9) Оптимальное межосевое расстояние:

$$a = 1,5 \cdot \frac{d_6}{\sqrt[3]{u}} = 1,5 \cdot \frac{224}{\sqrt[3]{1,43}} = 298 \text{ мм.} \quad (2.46)$$

10) Длина ремня:

$$L = 2 \cdot a + \Delta_1 + \frac{\Delta_2}{a}, \quad (2.47)$$

где  $\Delta_1 = \pi \cdot \frac{d_6 + d_M}{2} = 3,14 \cdot \frac{224 + 160}{2} = 603 \text{ мм,}$

$$\Delta_2 = \left( \frac{d_6 - d_M}{2} \right)^2 = \left( \frac{224 - 160}{2} \right)^2 = 1020 \text{ мм}^2.$$

$$L = 2 \cdot 298 + 603 + \frac{1020}{298} = 1200 \text{ мм.}$$

Принимаем по ГОСТ 1284.1-89 длину  $L = 1250 \text{ мм}$  [32, т. 2, с. 779, табл. 24].

11) Уточняем межосевое расстояние:

$$\begin{aligned} a &= 0,25 \cdot \left[ (L - \Delta_1) + \sqrt{(L - \Delta_1)^2 - 8 \cdot \Delta_2} \right] = \\ &= 0,25 \cdot \left[ (1250 - 603) + \sqrt{(1250 - 603)^2 - 8 \cdot 1020} \right] = 322 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.48)$$

12) Угол обхвата:

$$\alpha = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{d_6 - d_M}{a} = 180^\circ - 60^\circ \cdot \frac{224 - 160}{322} = 168^\circ. \quad (2.49)$$

13) Частота пробегов ремня:

$$\Pi = \frac{1000 \cdot v}{L} = \frac{1000 \cdot 24,6}{1250} = 19,7 \text{ с}^{-1}. \quad (2.50)$$

14) Поправочные коэффициенты  $K_u = 1,10$  для  $u = 1,43$ ;  $C_\alpha = 0,97$  для  $\alpha = 168^\circ$ ;  $C_p = 1,0$  для спокойной нагрузки (перегрузки при пуске до 120%) [31, с. 234-235].

15) Исходное полезное напряжение:

$$\begin{aligned} K_0 &= \frac{5,55}{\Pi^{0,09}} - 6 \cdot \frac{b_p^{1,57}}{d_M \cdot K_u} - 10^{-3} \cdot v^2 = \frac{5,55}{19,7^{0,09}} - 6 \cdot \frac{14^{1,57}}{160 \cdot 1,10} - 10^{-3} \cdot 24,6^2 = \\ &= 1,89 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (2.51)$$

16) Допустимое полезное напряжение:

$$[K] = K_0 \cdot C_\alpha \cdot C_p = 1,89 \cdot 0,97 \cdot 1,0 = 1,83 \text{ МПа.} \quad (2.52)$$

17) Необходимое число ремней:

$$z' = \frac{F_t}{[K] \cdot A_1} = \frac{813}{1,83 \cdot 138} = 3,22. \quad (2.53)$$

С учетом неравномерности распределения нагрузки в многоручьевой передаче  $C_z = 0,92$ ,

$$z = \frac{z'}{C_z} = \frac{3,22}{0,92} = 3,50.$$

Принимаем  $z = 4$ .

18) Рабочий коэффициент тяги:

$$\psi = \psi_0 \cdot C_\alpha \cdot C_p, \quad (2.54)$$

где  $\psi_0 = 0,67$  – исходный коэффициент тяги, принятый в стандартном методе расчета [31, с. 238].

$$\psi = 0,67 \cdot 0,97 \cdot 1,0 = 0,65.$$

Коэффициент:

$$m = \frac{1+\psi}{1-\psi} = \frac{1+0,65}{1-0,65} = 3,51. \quad (2.55)$$

19) Силы, действующие в передаче.

– Натяжение от центробежных сил:

$$F_{ц} = 10^{-3} \cdot \rho \cdot A_1 \cdot v^2, \quad (2.56)$$

где  $\rho = 1,2 \dots 1,25 \text{ г/см}^2$  – плотность прорезиненных клиновых ремней.

$$F_{ц} = 10^{-3} \cdot 1,23 \cdot 138 \cdot 24,6^2 = 103 \text{ Н.}$$

– Рабочее натяжение ветвей ремня:

$$F_1 = F_t \cdot \frac{m}{m-1} + F_{ц} = 813 \cdot \frac{3,51}{3,51-1} + 103 = 1240 \text{ Н;} \quad (2.57)$$

$$F_2 = F_t \cdot \frac{1}{m-1} + F_{ц} = 813 \cdot \frac{1}{3,51-1} + 103 = 427 \text{ Н.} \quad (2.58)$$

– Натяжение ремня в покое:

$$F_0 = 0,5 \cdot (F_1 + F_2) + \chi \cdot F_{ц}, \quad (2.59)$$

где  $\chi$  – коэффициент, учитывающий влияние податливости ремня и опор валов.

При закрепленных валах и обычных параметрах передачи  $\chi = 0,1 \dots 0,3$ .

$$F_0 = 0,5 \cdot (1240 + 427) + 0,2 \cdot 103 = 854 \text{ Н.}$$

20) Сила, действующая на вал:

$$F_a = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha} - 2 \cdot F_{\text{ц}} \cdot \cos\alpha = \quad (2.60)$$

$$= \sqrt{1240^2 + 427^2 + 2 \cdot 1240 \cdot 427 \cdot \cos 168^\circ} - 2 \cdot 103 \cdot \cos 168^\circ = 1030 \text{ Н.}$$

### 2.3.7 Расчет вала

Поскольку диаметры цапф под подшипники 0,10 м, то принимаем по чертежу диаметр вала  $d = 0,125 \text{ м} = 125 \text{ мм}$ .

Диаметр вала из среднеуглеродистой стали ( $\sigma_b = 500 \dots 800 \text{ МПа}$ ) при расчете на прочность приближенно определяют при переменной нагрузке и средних изгибающих моментах:

$$d > 120 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}}, \quad (2.61)$$

где  $d$  – диаметр вала в мм;

$N$  – передаваемая мощность, кВт;

$n$  – частота вращения вала, об/мин.

Отсюда допускаемая частота вращения вала:

$$n > N \cdot \left(\frac{120}{d}\right)^3 = 20 \cdot \left(\frac{120}{125}\right)^3 = 17,7 \text{ об/мин.} \quad (2.62)$$

Условие по частоте вращения вала выполняется.

$$m_p = m_{\text{ст}} + m_{\text{дн}}, \quad (2.63)$$

где  $m_{\text{ст}}$  – масса стенки ротора, кг;

$m_{\text{дн}}$  – масса днища ротора, кг.

$$m_{\text{ст}} = \pi \cdot D \cdot L \cdot s_{\text{и}} \cdot \rho, \quad (2.64)$$

где  $D$  – диаметр ротора, м;

$L$  – длина ротора, м;

$s_{\text{и}}$  – исполнительная толщина стенки ротора, м;

$\rho$  – плотность материала ротора, для стали 12Х18Н10Т  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

$$m_{\text{ст}} = 3,14 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 = 85,8 \text{ кг.}$$

$$m_{\text{дн}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s_{\text{дн}} \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 0,35^2}{4} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 = 11,3 \text{ кг.} \quad (2.65)$$

где  $s_{\text{дн}}$  – толщина днища ротора, м.

$$m_p = 85,8 + 11,3 = 97,1 \text{ кг.}$$

Масса суспензии, которая должна быть подана в центрифугу за время ее заполнения в период одного рабочего цикла  $T_p$ , установленного для выбранной центрифуги:

$$m_c = \frac{1-W}{X_T} \cdot m, \quad (2.66)$$

где  $m$  – единовременная загрузка ротора центрифуги, кг.

$$m = \rho_c \cdot V, \quad (2.67)$$

где  $V$  – объем ротора центрифуги.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 0,35^2}{4} \cdot 1 = 0,0962 \text{ м}^3. \quad (2.68)$$

$$m = 1018 \cdot 0,0962 = 97,9 \text{ кг.}$$

Общая масса ротора и центрифугируемого материала:

$$M = m_p + m_c = 97,1 + 97,9 = 195 \text{ кг.} \quad (2.69)$$

Общее усилие на вал:

$$P = M \cdot g = 195 \cdot 9,8 = 1910 \text{ Н.} \quad (2.70)$$

Допускаемый прогиб вала не должен превышать 0,0005 расстояния между опорами. Прогиб вала  $y$  в расчетном сечении определяется по формуле:

$$y = \frac{Q \cdot l^3}{10^{11} \cdot d^4} \cdot K_y, \quad (2.71)$$

где  $d$  и  $y$  в м;  $Q$  в Н;

$K_y$  — коэффициент, учитывающий связь между точкой приложения силы и точкой, в которой определяют деформацию; коэффициент берется по графикам [32, т. 2, стр. 28, рис. 3-6].

Для нашего типа нагружения и точки приложения усилия  $K_y = 0,75$ .

$$y = \frac{1910 \cdot 1,45^3}{10^{11} \cdot 0,125^4} \cdot 0,75 = 1,79 \cdot 10^{-4} \text{ м} < [y] = 0,0005 \cdot 1,45 = 7,25 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Для проверки вала на жесткость по углу закручивания, принимая  $[\varphi] \approx (4,4 \dots 8,8) \cdot 10^3$  рад ( $\sim 0,25 \dots 0,5^\circ$ ) на 1 м длины вала, пользуются формулой:

$$d = (105 \dots 125) \cdot \sqrt[4]{\frac{N}{n}}, \quad (2.72)$$

где  $d$  в мм;  $N$  в кВт;  $n$  в об/мин.

$$d = 115 \cdot \sqrt[4]{\frac{20}{2190}} = 35,6 \text{ мм.}$$

Условие жесткости вала выполнено.

Расчетные расстояния (из чертежа):

$$l_1 = 407 \text{ мм} = 0,407 \text{ м}; \quad l_2 = 204 \text{ мм} = 0,204 \text{ м}; \quad l_3 = 1000 \text{ мм} = 1 \text{ м}; \\ l_4 = 228 \text{ мм} = 0,228 \text{ м.}$$

Удельная нагрузка:

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{1910}{1} = 1910 \text{ Н/м.} \quad (2.73)$$

Баланс сил в проекциях на координатные оси:

$$\sum x: x_A + x_B = 0; \\ \sum x: y_A + y_B - F_a - q \cdot l_3 = 0;$$

Уравнение моментов сил вокруг точки А:

$$\sum m_{Ax}: F_a \cdot l_1 - q \cdot l_3 \cdot \left(l_2 + \frac{l_3}{2}\right) + y_B \cdot (l_2 + l_3 + l_4) = 0; \\ \sum m_{Ay}: x_B \cdot (l_2 + l_3 + l_4) = 0.$$

Отсюда составляющие сил в опорах:

$$x_B = 0, \\ x_A = -x_B = 0, \\ y_B = \frac{-F_a \cdot l_1 + q \cdot l_3 \cdot \left(l_2 + \frac{l_3}{2}\right)}{l_2 + l_3 + l_4} = \frac{-1030 \cdot 0,407 + 1910 \cdot 1 \cdot \left(0,204 + \frac{1}{2}\right)}{0,204 + 1 + 0,228} = 646 \text{ Н.} \\ y_A = -y_B + F_a + q \cdot l_3 = -646 + 1030 + 1910 \cdot 1 = 2290 \text{ Н.}$$

Изгибающие моменты:

$$M_{Ax} = -F_a \cdot l_1 = -1030 \cdot 0,407 = -419 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\ M_{Dy} = -F_a \cdot (l_1 + l_2) + y_A \cdot l_2 = -1030 \cdot (0,407 + 0,204) + 2290 \cdot \\ \cdot 0,204 = -162 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\ M_{Ey} = y_B \cdot l_4 = 646 \cdot 0,228 = 147 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Максимальный изгибающий момент по оси  $y$  на участке  $DE$  – в сечении с  $Q = 0$  (точка  $F$ ). Для нахождения расстояния  $BF$  составляем баланс поперечных сил правой части вала.

$$y_B - q \cdot BF = 0. \\ BF = \frac{y_B}{q} = \frac{646}{1910} = 0,338 \text{ м.}$$

$$M_{F_y} = y_B \cdot BF - q \cdot \frac{(BF-l_4)^2}{2} = 646 \cdot 0,338 - 1910 \cdot \frac{(0,338-0,228)^2}{2} = 207 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальный изгибающий момент – в точке  $A$ .  
Строим эпюры  $Q$  и  $M_u$ .

$$W = \frac{\sqrt{M_u^2 + 0,45 \cdot M_{кр}^2}}{[\sigma_{из}]} = \frac{\sqrt{419^2 + 0,45 \cdot 65^2}}{75 \cdot 10^6} = 5,62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (2.74)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 5,62 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 0,0385 \text{ м} = 38,5 \text{ мм}. \quad (2.75)$$

Условие прочности относительно первоначального значения на чертеже выполняется.

Принимаем диаметр вала из конструктивных соображений по чертежу  $d = 125 \text{ мм}$ .

### 2.3.8 Подбор подшипников

Поскольку вал испытывает только радиальные нагрузки от ротора и содержащейся в нем массы, предварительно принимаем шариковые радиальные однорядные подшипники ГОСТ 8338-75 легкой серии тип 120 с динамической грузоподъемностью  $C = 60500 \text{ Н}$ . Рекомендуемый ресурс подшипника  $L_h = 25000 \text{ час.}$ , как для машины, работающей с полной нагрузкой одну смену [32, т. 2, стр. 143, табл. 71].

Расчет ведем по подшипнику  $A$ , как наиболее нагруженному.

$$F_A = y_A = 2290 \text{ Н}.$$

Эквивалентная нагрузка для шариковых радиальных подшипников:

$$R = F_{rП} \cdot V \cdot K_G \cdot K_m, \quad (2.76)$$

где  $F_{rП}$  – радиальная сила, действующая на подшипник;

$V$  – коэффициент вращения, при вращении внутреннего кольца  $V=1$ ;

$K_G$  – коэффициент безопасности, учитывающий влияние характера нагрузки на долговечность подшипника. По данным ВНИИП  $K_G \approx 0,01 \cdot W$ , где  $W$  – возможная перегрузка подшипника в процентах;  $K_G = 1 \dots 2,5$  в зависимости от характера нагрузки. Принимаем  $K_G = 1,7$ ;

$K_m$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры на долговечность подшипника. Для  $t < 100^\circ\text{C}$   $K_m = 1,00$ .

$$R_A = 2290 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1 = 3890 \text{ Н};$$

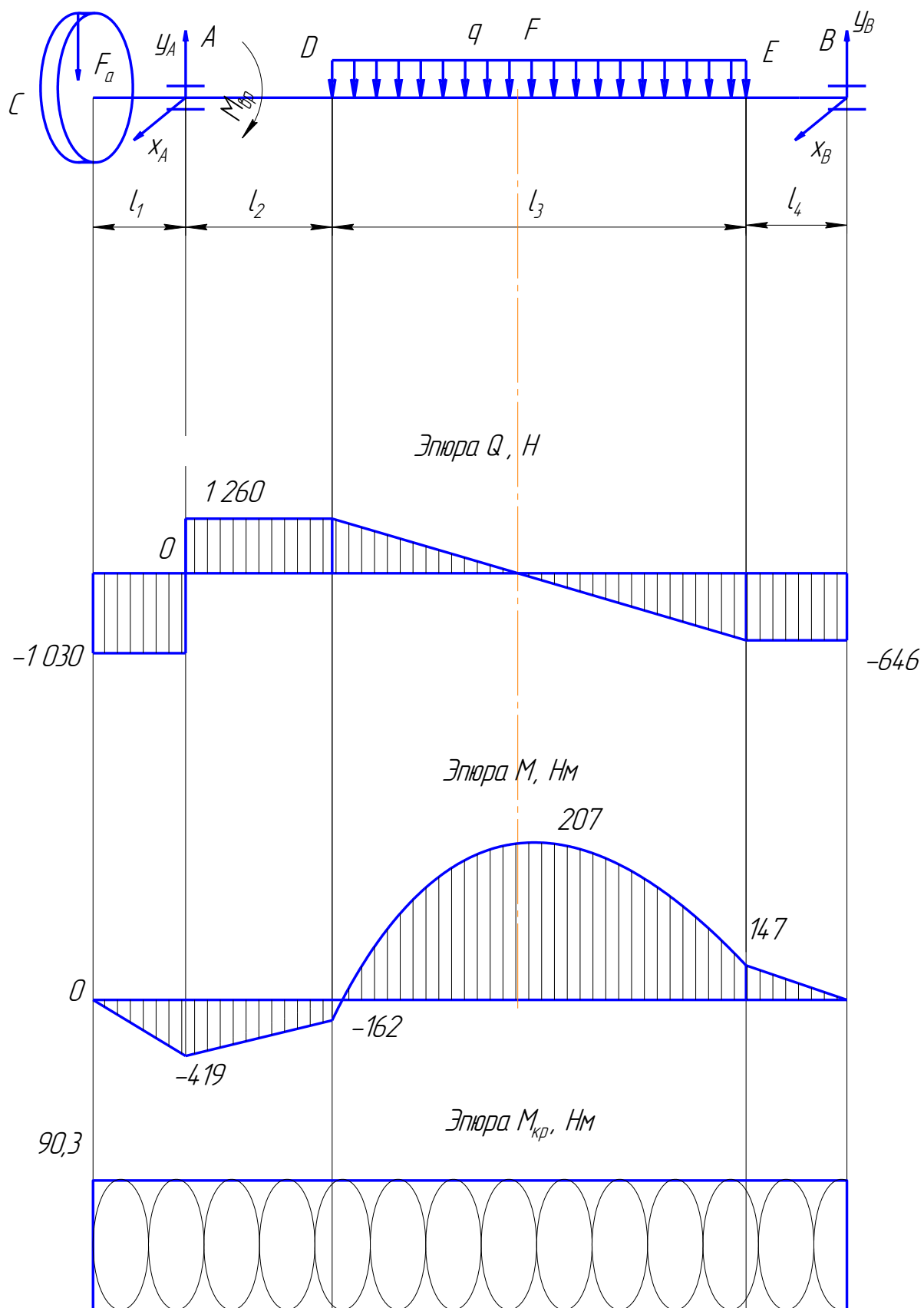


Рисунок 2.2 – Расчетная схема вала и эпюры поперечных сил и изгибающих МОМЕНТОВ

Ресурс подшипника:

$$L_h = \frac{10^6}{573 \cdot \omega} \cdot \left(\frac{C}{R}\right) = \frac{10^6 \cdot 30}{573 \cdot \pi \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{R}\right) = \frac{10^6 \cdot 30}{573 \cdot 3,14 \cdot 2190} \cdot \left(\frac{60500}{3890}\right)^{\frac{10}{3}} = 71500 \text{ час.} \quad (2.77)$$

Ресурс выбранных подшипников удовлетворяет условиям задачи.

### 2.3.9 Расчет изменения потребляемой энергии и производительности сопел жидкой фазы

$$Q_{сл} = Q_{п} \cdot \frac{100-b-B_c}{100-b-B_{\phi}}, \quad (2.78)$$

где  $B_c$  - концентрация твердого вещества в суспензии в % масс;

$b$  - влажность осадка в % масс;

$B_{\phi}$  - содержание твердой фазы в фугате в % масс.

Производительность центрифуги в кг/ч по сухому твердому веществу:

$$Q_T = Q_{п} \cdot \frac{B_c}{100}, \quad (2.79)$$

где  $Q_{п}$  – производительность центрифуги, равная 36 кг/час.

Произведем расчет:

$$Q_T = 16,25 \cdot \frac{8}{100} = 3,25 \text{ кг/час.}$$

$$Q_{сл} = 16,25 \cdot \frac{100-30-20}{100-30-8} = 13,5 \text{ кг/час.}$$

Производительность модернизированных сопел рассчитываем по формуле:

$$Q = w \cdot V, \quad (2.80)$$

где  $w$  – площадь живого сечения,  $m^2$ ,

$V$  – скорость потока жидкости, м/с.

Согласно чертежам получаем размеры сопел 42x38мм, учитываем количество сопел – два, а также скорость потока жидкости 10 м/с. Рассчитываем производительность.

$$Q = 0,001617 \cdot 10 = 0,01617 \frac{m^3}{c} = 58,212 m^3/\text{час.}$$

Учитывая плотность бурового раствора, получаем производительность сопел 53 кг/час. Таким образом, мы видим, что производительность модернизированных сопел удовлетворяет условию необходимой производительности слива центрифуги.



Рассчитать изменение затрачиваемой энергии по существующим формулам невозможно. Установить изменение затрачиваемой энергии можно только благодаря экспериментальным данным. Такие эксперименты проводились компанией Alfa Laval, в результате которых было установлено, для больших центрифуг с соотношением длины и ширины барабана 3:1 и более снижение потребления электроэнергии составило 20-22%. Соотношение длины и ширины в центрифуге для очистки бурового раствора составляет три, и, согласно экспериментальным данным мы считаем, что уменьшение энергопотребления в модернизированной центрифуге составит 20%.

## 2.4 Технология изготовления сопла для выхода жидкой фазы

### 2.4.1 Исходные данные

Рабочий эскиз модели представлен на рисунке 2.2.

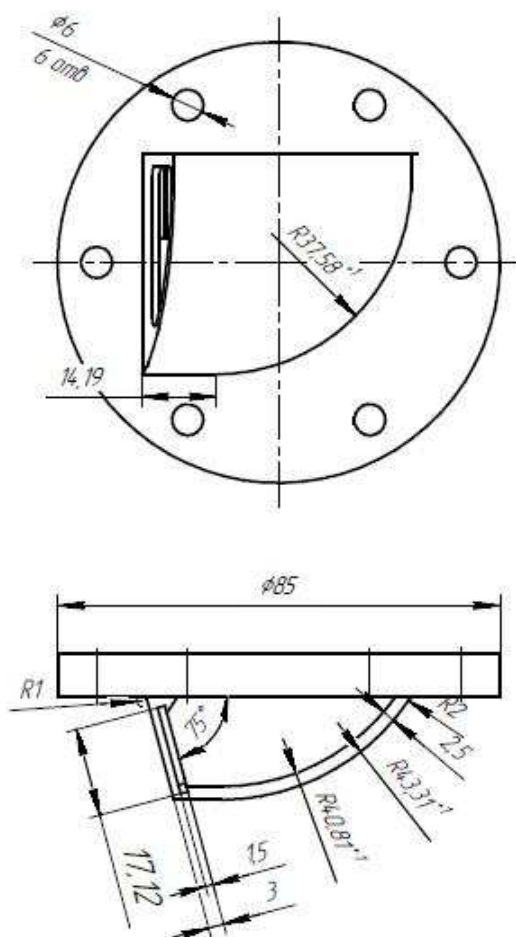


Рисунок 2.2 – Рабочий эскиз сопла для выхода жидкой фазы

Необходимо провести анализ функционального назначения поверхностей детали и размерных связей между поверхностями. Определить поверхности, относительно которых задано положение большинства других поверхностей и выявить те, к которым предъявляют наиболее жесткие технические требования.

На основании проведенного анализа выявить технологические базы, образующие систему координат заготовки, необходимые для решения поставленной задачи обработки. Необходимо определить последовательность обработки и содержание операций, представить схемы базирования, установки и закрепления детали в процессе обработки на многооперационном обрабатывающем центре.

#### 2.4.2 Порядок выполнения обработки

1) Ознакомившись с рабочим эскизом (рис. 2.2), выявим основные, вспомогательные и свободные поверхности. Дадим обозначение поверхностям индексами из определенных букв *O*, *B*, *C* и цифр. Буквы, входящие в индекс, соответственно обозначают поверхности основных баз – *O* (конструкторских баз, принадлежащих данной детали или сборочной единице и используемых для определения их положения в изделии), вспомогательных баз – *B* (конструкторских баз, принадлежащих данной детали или сборочной единице и используемых для определения положения присоединяемого к ним деталей или сборочных единиц), исполнительных баз – *I* (выполняют служебное назначение), свободные поверхности детали, включая и необрабатываемые – *C*. Для поверхностей основных баз нумерацию делают в порядке уменьшения числа располагаемых на них опорных точек. Например, *O1* – установочная база, *O2* – направляющая или двойная опорная, *O3* – опорная база. Цифры для остальных поверхностей обозначают последовательность их нумераций. Выявленные поверхности представлены на рис. 2.3.

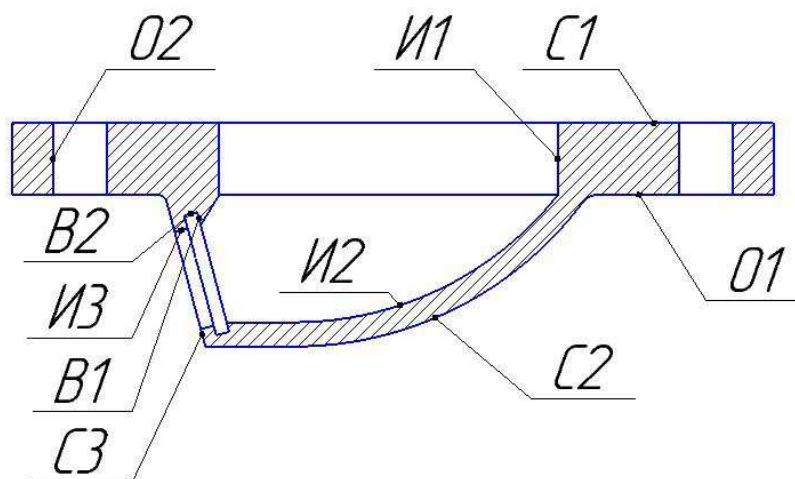


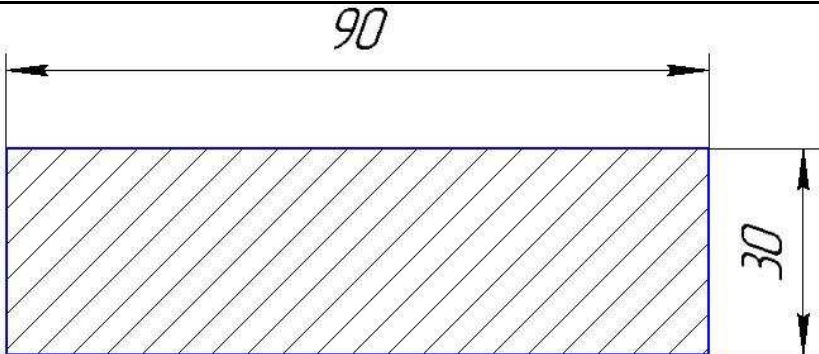
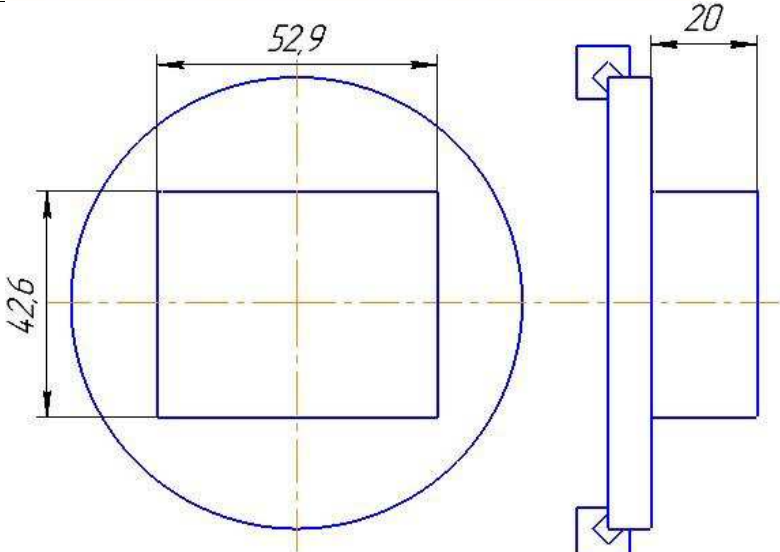
Рисунок 2.3 – Эскиз сопла для выхода жидкой фазы с обозначением поверхностей

2) Определим последовательность обработки на 5-ти координатном фрезерном станке и содержание операций. Разработаем теоретические схемы базирования и схемы установки и закрепления детали в процессе обработки на операциях. Результаты представим в виде таблицы 2.1 и 2.2 соответственно.

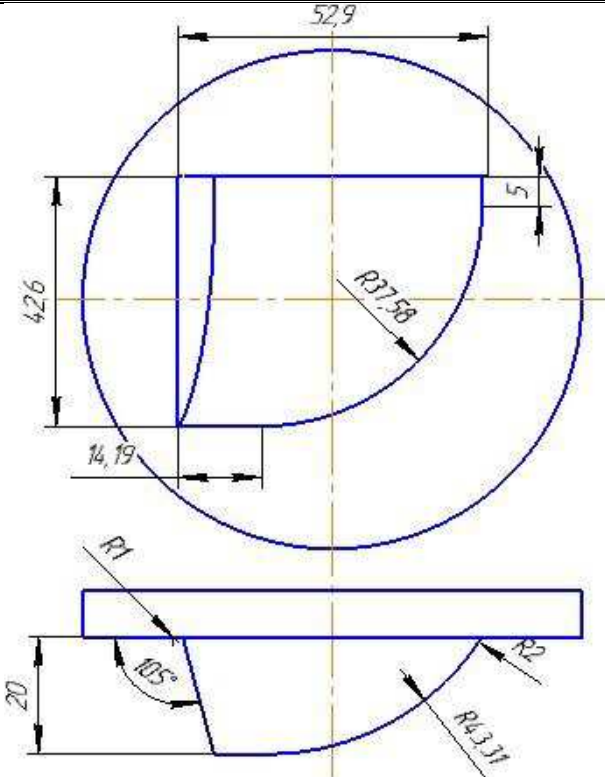
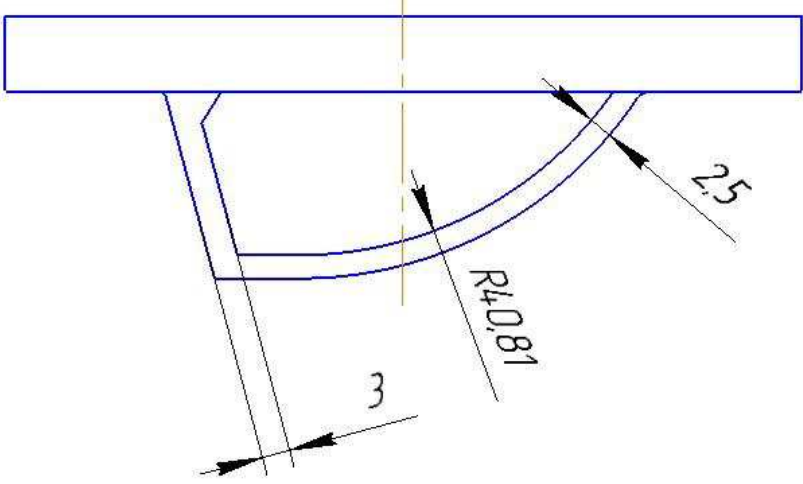
Таблица 2.1 – План обработки поверхностей выпускного элемента

Операция	Содержание операции
005	Отрезать заготовку на фрезерно-отрезном станке
010	Подрезка торца
015	Фрезерование сферической поверхности выдерживая радиус R37,58 и R43,31; боковая поверхность под углом 105° к фланцу
020	Фрезерование внутренней сферической поверхности R40,81
025	Подрезка торца $\varnothing 85$ для образования фланца
030	Фрезерование отверстия во фланце
035	Фрезерование отверстия в боковой поверхности
040	Строгание паза
045	Сверление отверстий $\varnothing 6$

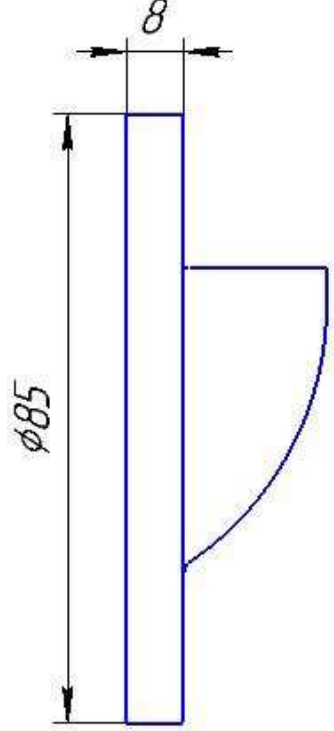
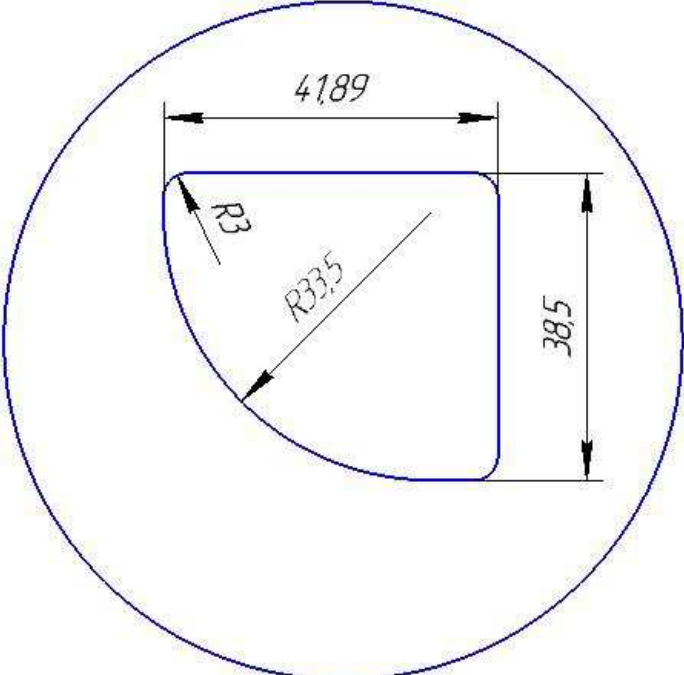
Таблица 2.2 – Последовательность обработки выпускного элемента

Теоретическая схема базирования	Содержание операции. Задачи обработки. Схема установки и закрепления
	<p>005 операция: отрезать заготовку на фрезерно-отрезном станке</p>
	<p>Фрезерная 010 операция: подрезка торца</p>

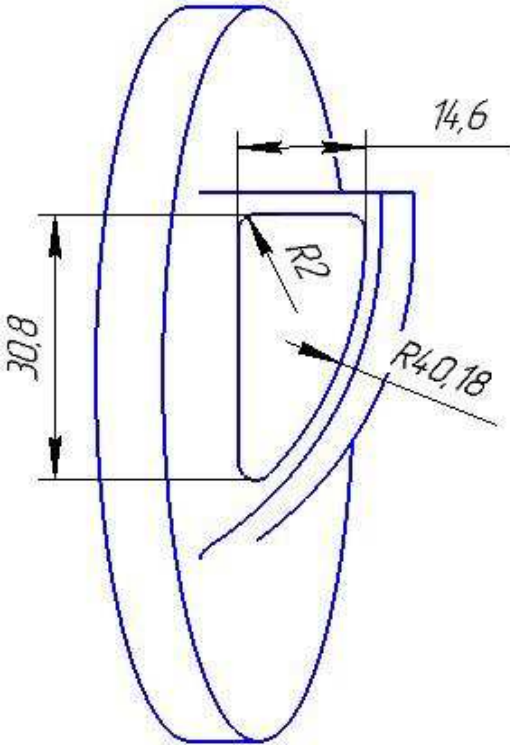
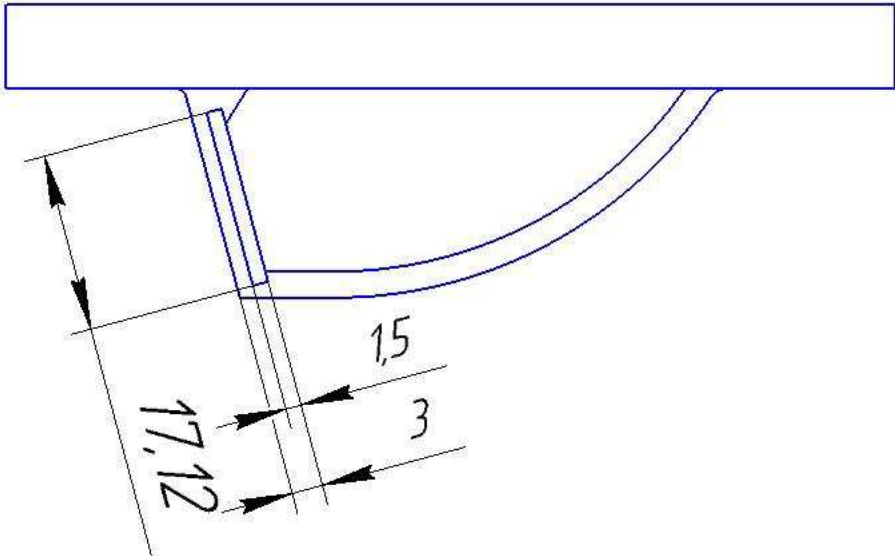
Продолжение таблицы 2.2

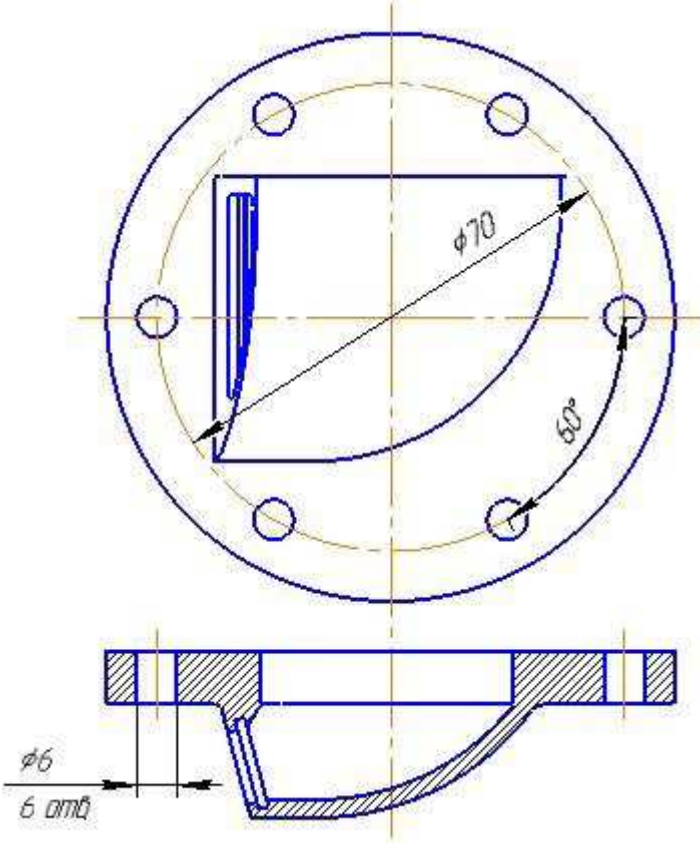
Теоретическая схема базирования	Содержание операции. Задачи обработки. Схема установки и закрепления
	<p>Фрезерная 015 операция: фрезерование сферической поверхности выдерживая радиус R37,58 мм и R43,31 мм; боковой поверхности под углом 105° к фланцу</p>
	<p>Фрезерная 020 операция: фрезерование внутренней сферической поверхности R40,81 мм; толщиной стенки 2,5 мм; толщиной боковой стенки 3 мм</p>

Продолжение таблицы 2.2

Теоретическая схема базирования	Содержание операции. Задачи обработки. Схема установки и закрепления
	<p>Фрезерная 025 операция: подрезка торца <math>\varnothing 85</math> мм; толщина фланца 8 мм</p>
	<p>Фрезерная 030 операция: фрезерование отверстия с внутренней стороны фланца</p>

Окончание таблицы 2.2

Теоретическая схема базирования	Содержание операции. Задачи обработки. Схема установки и закрепления
 <p>Technical drawing of a cylindrical part. The drawing shows a perspective view of a cylinder with a diameter of 30,8. A feature on the side has a width of 14,6. There are two fillet radii indicated: R2 and R40,18.</p>	<p>Фрезерная 035 операция: фрезерование отверстия в боковой поверхности корпуса</p>
 <p>Technical drawing of a rectangular part with a chamfered edge. The drawing shows a perspective view of a rectangular block with a chamfered edge. The height of the block is 17,12. The width of the chamfer is 1,5, and the width of the chamfer is 3.</p>	<p>040 операция: строгание паза</p>

Теоретическая схема базирования	Содержание операции. Задачи обработки. Схема установки и закрепления
	<p>Сверлильная 045 операция: сверление 6 отверстий <math>\varnothing 6</math> мм на вертикально-сверлильном станке с шагом в <math>60^\circ</math> и <math>\varnothing 70</math> мм от центра фланца</p>

## 2.5 Разработка мероприятий по антикоррозионной защите центрифуги

Под технологическими методами борьбы с коррозией следует понимать следующие мероприятия: сохранение или поддержание первоначально низкой коррозионной активности среды, предотвращение попадания в рабочую среду агрессивных компонентов (сероводорода и кислорода) из различных источников; создание для действующего оборудования коммуникаций нефтепромыслов наиболее благоприятных условий эксплуатации в агрессивной среде.

Технологические методы защиты от коррозии в большинстве случаев носят направленный (профилактический) характер.

Используют следующие методы борьбы с коррозией:

- технологические, направленные на сохранение первоначально низкой агрессивности рабочей среды или создание наиболее благоприятных условий, с точки зрения защиты от коррозии, условия эксплуатации того или иного оборудования. К этому относятся полная герметизация оборудования, и



берется специальное утолщение стенок корпусов для увеличения антикоррозионной стойкости оборудования к агрессивной жидкости.

– специальные средства защиты, включающие применение ингибиторов коррозии, неметаллических материалов и сплавов, а также электрохимической защиты.

Одна из операций защиты оборудования от коррозии и придания ему декоративного вида является окраска оборудования. Чтобы надежно предохранить оборудование от коррозии лакокрасочные покрытия должны обладать определенным комплексом свойств; сплошностью пленки, хорошим сцеплением с поверхностью металла, стойкостью к действию масел, топлив, повышенной влажности, водной среды; В некоторых случаях к покрытию предъявляются специальные требования, как например, сопротивление истиранию, теплостойкость.

Лакокрасочные покрытия, выпускаемые промышленностью, делятся на грунты, шпаклевки, лаки и эмали. Каждый вид лакокрасочного покрытия имеет определенное целевое назначение. Грунты обеспечивают хорошее сцепление между металлом и последующими слоями покрытия, а также создают надежный антикоррозионный слой. Эмали и лаки используют для наружных слоев покрытия с целью получения механически прочных и химически инертных пленок, устойчивых к действию окружающей среды.

Обычно лакокрасочные покрытия представляют собой многослойную систему, состоящую из различных лакокрасочных материалов, нанесенных в определенной последовательности.

Для атмосферостойких покрытий рекомендуется наносить 1-2 слоя грунта, шпаклевку и 2-3 слоя эмали. Для водостойких и химически-стойких покрытий рекомендуется применить подобную схему, однако число слоев эмали должно быть увеличено.

Для защиты кожуха от коррозионного воздействия на внутреннюю поверхность, на которую воздействует как жидкая фаза, так и твердая, крепят резиноканевые листы. Данные листы препятствуют абразивному и коррозионному износу кожуха.

Для защиты рабочих органов от коррозии и абразивного износа производят напыление или наплавку наружных поверхностей карбида вольфрамовым сплавом, либо стеллит, сормайт. Преимуществами данных защитных слоев являются:

- Покрытие наносится при высоких температурах (около 425 °С);
- Прочно и исключительно надежно связывается с основой – металлом из которого изготовлена обрабатываемая деталь;
- Напыляется слоем от 0,4 до 3 мм на поверхности любой сложной конфигурации;
- Состав обладает свойствами электрического изолятора;
- Создает воздушно – и водонепроницаемый герметичный слой;
- Устойчив к истиранию и действию абразивов, защищает объекты от действия воды, погоды, предотвращает образование ржавчины, коррозии.



Эффективность использования защитных покрытий, неметаллических материалов, коррозионно – стойких металлов и сплавов, а также электрохимической защиты определяется технологией нанесения защитных покрытий, стойкостью и конструктивными свойствами неметаллических материалов, особенностями применения катодной и протекторной защиты на том или ином объекте. Эти методы защиты от коррозии широко используются во многих отраслях промышленности, особенность их применения в разных условиях достаточно хорошо изучена, а их эффективность в значительной степени оценена длительным промысловым опытом.

## **2.6 Вывод по разделу**

В данном разделе был предложен вариант модернизации, проведен технологический и конструкторский расчет параметров центрифуги и модернизированного сопла для выхода жидкой фазы, разработаны мероприятия по антикоррозийной защите агрегата. По результатам модернизации была представлена модель сопла, выполненная в виде фланца и корпуса с пластиной, обеспечивающая снижение энергопотребления на 20%, повышения мощности центрифуги и улучшения контроля разделения за счет сменной пластины.

В ходе дальнейшей работы необходимо разработать мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту центрифуги для очистки бурового раствора.

### 3 Эксплуатация и ремонт

Надежная и безотказная работа оборудования помимо правильной эксплуатации также зависит от своевременности и качества ремонта. Ремонт оборудования организуют в соответствии с системой технического обслуживания и ремонта, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, технической документации и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделия, входящих в эту систему. В основу системы положено сочетание технического обслуживания и планово-периодических ремонтов.

Ремонт – это комплекс операций по устранению неисправности, восстановлению работоспособности и ресурса изделия или его составных частей.

Техническое обслуживание – комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении, транспортировке.

Согласно системе все виды ремонта планируются в заранее установленной последовательности, через определенные интервалы отработанного времени. Однако характер требующихся ремонтов, сроки их выполнения, примерные объёмы, а также выявление изношенных деталей, подлежащих замене, определяются на основе сведений о техническом состоянии оборудования, полученных при предварительных технических осмотрах непосредственно перед ремонтом.

При ремонте оборудования используется следующая терминология:

Капитальный ремонт – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые и их регулировкой.

Текущий ремонт – ремонт, выполняемый в процессе эксплуатации для гарантированного обеспечения работоспособности оборудования и состоящий из замены и восстановления его отдельных частей, их регулировки, а также контроля технического состояния составных частей.

Система технического обслуживания и ремонта оборудования включает следующие основные виды ремонтных работ: техническое обслуживание, текущий ремонт и капитальный ремонт.

Техническое обслуживание включает комплекс работ по уходу за оборудованием, проведение осмотров, систематическое наблюдение за их исправным состоянием, соблюдение правил эксплуатации и инструкций заводов-изготовителей, устранение мелких неисправностей, контроль и осуществление необходимых мер по экономному расходованию всех видов энергоресурсов. Техническое обслуживание производится силами оперативного или оперативно-ремонтного персонала в процессе эксплуатации оборудования.

Осмотры являются важнейшей функцией технического обслуживания и фактором, обеспечивающим безаварийную работу оборудования. Как самостоятельная операция осмотры планируются перед текущим и

капитальным ремонтом. Во время осмотра проверяют состояние оборудования, производят чистку, промывку, продувку, ремонт изоляции, доливку или замену масел, выделяют дефекты эксплуатации нарушение правил безопасности, уточняют состав и объём работ, подлежащих выполнению при очередном текущем или капитальном ремонте.

Текущий ремонт – это минимальный по объёму плановый ремонт, имеющий профилактическую направленность. Чисткой, проверкой, заменой быстроизнашивающихся частей, наладкой и регулировкой оборудования достигается поддержание оборудование в работоспособном состоянии до следующего капитального ремонта. Хотя текущий ремонт выполняется с остановкой агрегата и отключением его от сетей, по своему объёму он непродолжителен, производится без полной разборки сборочных единиц путем ремонта наиболее изношенных из них.

При текущем ремонте центрифуги для очистки бурового раствора производят очистку оборудования, измеряют зазоры между корпусом барабана и ножами шнека, проверяют витки и сварные швы шнека, проверяют исправность подшипников, манжет и прокладок, проверяют набивку сальников, заменяют масло, проверяют отклонение от соосности валов электродвигателя и редуктора. На основании осмотра и измерений принимают решение по устранению выявленных неисправностей, восстановлению или замене быстроизнашивающихся частей, а так же выполнению регулировок и настроек.

К текущему ремонту так же относятся непредвиденные ремонты, вызванные случайными повреждениями, которые не могут быть выполнены в порядке технического обслуживания.

Капитальный ремонт – наибольший по объёму плановый ремонт, который заключается в полной разборке агрегата и его составных частей, восстановлении или замене изношенных деталей и сборочных единиц, регулировании, наладке и испытании по программе и методике, составленным согласно эксплуатационной и ремонтной документации.

При капитальном ремонте центрифуг для очистки бурового раствора помимо указанных работ для текущего ремонта заменяют сопла, ножи шнека, манжеты гидросистемы, пальцы и втулки муфты привода, подшипники барабана и редуктора привода.

После капитального ремонта параметры центрифуги, размеры сопрягаемых поверхностей должны соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к новому оборудованию.

Капитальный ремонт центрифуг проводят на месте их установки. Ремонт и восстановление изношенных деталей и сборочных единиц осуществляют на специализированном ремонтном предприятии.

### **3.1 Общие сведения о ремонте центрифуги для очистки бурового раствора**

Восстанавливать и заменять изношенные детали следует своевременно, так как продолжительная работа центрифуги с изношенными деталями может

привести к усложнению и удорожанию ремонта. Необходимость восстановления или замены деталей определяют при профилактических осмотрах.

Перед осмотром и контролем узел очищают от продукта, промывают нейтрализующим раствором, горячей водой и разбирают все подвижные соединения. Детали очищают от смазки, промывают в уайт-спирите или керосине, просушивают с помощью сжатого воздуха или другим способом. Контролируемые детали укладывают на чистом полу, столе или верстаке. Размеры деталей проверяют аттестованными измерительными инструментами.

При текущем ремонте центрифуги для очистки бурового раствора чистят барабан, осматривают всю проточную часть, измеряют зазоры между корпусом барабана и ножами шнека. Проверяют посадочные поверхности и базовые торцы на отсутствие износа, забоин, вмятин и других повреждений. Осматривают витки и сварные швы шнека. Значительный износ, трещины на сварных швах не допускаются. Проверяют состояние резьбовых поверхностей и крепежа. Проверяют исправность подшипников, манжет, прокладок и стопорных шайб. Проверяют набивку сальников, смазочный материал подшипников шнека, заменяют масло в подшипниках барабана, проверяют отклонение от соосности валов электродвигателя и редуктора. На основании осмотра и измерений принимают решение по устранению выявленных неисправностей, восстановлению или замене быстроизнашивающихся частей, а так же выполнению регулировок и настроек.

При капитальном ремонте помимо работ указанных выше, заменяют сопла, ножи шнека, манжеты гидросистемы, пальцы и втулки муфты привода, подшипники барабана и редуктора привода.

Значительный износ корпуса барабана и других деталей ротора центрифуги, а также наличие трещин на них приводят к нарушению балансировки и появлению заметной вибрации.

Ежегодные эксплуатационные расходы и затраты на ремонт для машин, обслуживание которых не требует большого внимания, составляют 5—10% от торговой цены, исключая фильтрующий материал, если в нем имеется необходимость. Подшипники и валы подвергаются максимальному износу. Ненагруженные ножи в автоматических центрифугах периодического действия подвергаются эрозии. Для машин со сложным обслуживанием, работающих с агрессивными средами, эксплуатационные расходы могут быть в несколько раз выше, чем при обычном обслуживании.

При ремонте центрифуг любой конструкции особое внимание необходимо обратить на балансировку ротора и точную установку вала.

При эксплуатации центрифуги для очистки бурового раствора следует соблюдать рекомендации по её обслуживанию, так как своевременная смазка подшипников, проверка уровня масла и контроль за температурой могут увеличить срок службы центрифуги.

Смазка подшипников:

- опорные – 2-3 качка через 12 часов работы;
- шнековые – 5-6 качков через 72 часа работы.

Проверка уровня масла:

- в гидромфте – 1 раз в месяц (уровень сливная пробка на 45° от вертикали);

- в редукторе – 1 раз в месяц.

Проверка температуры подшипников периодически в процессе работы.

Промывка: 10-15 мин. через 12 часов работы, а также 20 мин. по окончании работ.

Таблица 3.1 – Рекомендации по обслуживанию центрифуги

Описание	Часы	Что делать
Проверить натяжение ремня	75	Подтянуть ремень
Проверить трение ремней	250	Поменять ремни
Смазка подшипников	25	Смазывать регулярно
Редуктор	500	Проверить уровень масла (или смазки)

## 3.2 Методы контроля деталей центрифуги с целью определения их пригодности к эксплуатации

### 3.2.1 Контроль резьбовых соединений

В резьбовых соединениях чаще всего изнашивается профиль резьбы, что приводит к увеличению зазора в них. Износ соединений — результат недостаточной или, наоборот, чрезмерной затяжки винтовых гаек. Он особенно значителен в тех случаях, когда работающее соединение воспринимает большие или знакопеременные нагрузки. Быстро выходят из строя также часто разбираемые и регулируемые узлы.

При контроле тщательно осматривают профиль резьбы, на которой не должно быть раковин, сорванных и забитых ниток. Проверяют грани болтов и гаек, состояние стержней болтов, винтов и шпилек, надежность крепления шпилек в корпусах. Шпильки не рекомендуется выворачивать из гнезд, если в этом нет необходимости.

Наиболее ответственными резьбовыми соединениями, на которые следует обратить внимание, являются места крепления ротора на валу, привода на станине или металлоконструкции, цилиндров на кожухе, кожуха на станине.

### 3.2.2 Контроль ротора

Ротор центрифуги в процессе работы подвергается большим нагрузкам, коррозии и износу. Во избежание разрушения ротора необходимо периодически (не реже одного раза в год) обследовать его с целью выявления степени износа, трещин в сварных швах и околошовных зонах, а также других дефектов.

Контроль ротора производят в следующем порядке.

1. Освобождают ротор от сит (в фильтрующих машинах).

2. Промывают ротор горячей водой; сварные швы и околошовные зоны зачищают мелкозернистой шлифовальной шкуркой № 3 – 6, зачищенные места промывают бензином или уайт-спиритом, затем протравливают горячей 15%-ной соляной кислотой, после чего места травления промывают водой, нейтрализуют кальцинированной содой и снова промывают водой.

3. Осматривают швы и околошовные зоны лупой с 5 – 7 - кратным увеличением.

4. Замеряют толщину стенки ротора и величину отверстий.

Результаты обследования должны быть оформлены актом с подписями лиц, ответственных за эксплуатацию центрифуг.

При несоответствии размеров ротора чертежным, наличии трещин или других дефектов в сварных швах или околошовных зонах руководство завода самостоятельно принимает решение о возможности дальнейшей эксплуатации центрифуг или, если это необходимо, консультируется с предприятием – изготовителем.

### **3.2.3 Контроль валов, штоков, цапф ротора и шнека**

Указанные детали являются весьма ответственными и подлежат обязательному контролю на отсутствие микротрещин, изгибов, износа, забоин, коррозии и других дефектов. Перед контролем детали должны быть тщательно очищены и промыты. Внешний осмотр необходимо вести с помощью лупы с 5 – 7 - кратным увеличением.

### **3.2.4 Контроль литых корпусных деталей**

К таким деталям относятся станины, корпуса подшипников, клапаны и т. п. Контроль их производится в следующем порядке.

1. Проводят внешний осмотр для выявления трещин и отрывов выступающих частей.

2. Проверяют состояние опорных и соединительных поверхностей. Плоские поверхности проверяют на плоскостность контрольными линейками или на контрольных плитах. Размеры посадочных поверхностей контролируют универсальными мерителями. Особое внимание при проверке должно быть обращено на состояние посадок подшипников качения коренных опор.

3. Проверяют резьбовые отверстия и сопряжения.

4. Проверяют состояние футеровки, гуммировки или других защитных покрытий.

### **3.2.5 Контроль сварных узлов**

Прежде всего производят внешний осмотр швов для выявления трещин, а также повышенной (по сравнению с состоянием основного металла центрифуги) коррозии. Затем проверяют плоскостность и состояние опорных и соединительных поверхностей ротора, кожуха и др.

### **3.2.6 Контроль редуктора**

Необходимо проверить состояние зубьев шестерен и венцов редуктора. Поломка, трещины, значительный износ зубьев недопустимы. Особое внимание нужно обратить на солнечные шестерни, которые подвергаются износу в первую очередь. Проверить состояние подшипников. Трещины обойм, повышенный износ беговых дорожек, поломка сепараторов, роликов (иглоков) и другие дефекты не допускаются.

Осмотреть торцовые поверхности дистанционных шайб. Шайбы с повышенным износом подлежат замене. Проверить гайки и гнезда под подшипниками; на них не допускаются забоины, царапины и повышенный износ.

### **3.2.7 Контроль уплотнений**

Проверить качество трущихся поверхностей, уплотнения, обратив особое внимание на состояние деталей из графита; большой износ, трещины и изломы деталей не допускаются. Проверить посадочные поверхности на отсутствие забоин. Осмотреть сварные швы рубашки. Продуть сжатым воздухом отверстия системы охлаждения. Проверить исправность прокладок и уплотняющих колец, пружин и подпятника; изношенные детали заменить.

## **3.3 Ремонт основных деталей центрифуги для очистки бурового раствора**

### **3.3.1 Ремонт шнека и ротора**

Шнек центрифуги для очистки бурового раствора подвержен гидроабразивному, кавитационному и коррозионному износу. Наибольшему износу в процессе эксплуатации подвержены витки и загрузочные втулки. Гидроабразивный износ проявляется в виде рисок на поверхностях, совпадающих с направлением потока. Кавитационный износ характеризуется появлением пористости и раковин на рабочей поверхности шнека. В результате совместного износа шнек может относительно за короткий срок достигнуть размеров, затрудняющих его нормальную эксплуатацию и даже делающих ее практически невозможной.

Центрифугу разбирают в объеме, необходимом для снятия шнека. Шнек очищают от продукта и промывают. Износ шнека не должен превышать 5 мм на сторону.

При небольшом износе размеры шнека восстанавливают наплавкой в среде защитных газов проволокой аналогичного основному материалу состава. Во время работ восстанавливается линия витка, при этом обязательно до номинальных размеров. Далее производится обработка с учетом необходимости последующей упрочняющей наплавки. Газопорошковая наплавка производится шнуровым материалом содержащим полидисперсную

по гранулометрическому составу упрочняющую составляющую — карбид вольфрама, который имеет высокие показатели износостойкости. Иногда применяют твердосплавные пластины. Ряд шнеков наплавляют по плоскости твердым сплавом ВЗК (стеллит) или сормайтотом.

После наплавки шнек протачивают на токарном станке и зачищают пневмотурбинкой по плоскости и фаске. На станке шнек выставляют по посадочным шейкам подшипников. Допускаемое биение шеек – 0,03 мм. По окончании производится шлифовка рабочих поверхностей с помощью ручного абразивного инструмента. Также ремонт шнека предусматривает его динамическую балансировку. Сильно изношенный шнек (5 мм на сторону и более) заменяют новым.

Загрузочные втулки с графитовыми кольцами ремонту не подлежат и заменяются новыми. При износе стальных сливных втулок производят наплавку выработанной части и зачистку ее до номинального диаметра.

При установке нового шнека в ротор, необходимо сохранить точный зазор между лопастями шнека и ротором нового шнека в конической части. Это необходимо также для обеспечения правильного осевого зазора между ротором и шнеком. Это обеспечивается при помощи вкладышей или регулировочных колец, устанавливаемых в гнезда подшипников с обеих торцов шнека. В то время как подшипники и/или сальники подлежат периодической замене, существующие вкладыши должны использоваться повторно. Если вкладыши повреждены, новые должны быть тех же размеров и в том же количестве.

При износе цапфы шнека изготавливается новая или наплавляется изношенная цапфа с припуском на шейке под подшипник 2 – 3 мм на диаметр. Шнек собирают с цапфой и производят окончательную обработку шейки цапфы. При обточке его выставляют по шейке подшипника второй цапфы. Перед сборкой шнек необходимо подвергнуть динамической балансировке.

При ремонте шнека устанавливают новые шарикоподшипники и манжеты уплотнений.

Переполнение шламом центрифуги может привести к возникновению чрезмерных нагрузок между ротором и шнеком.

В узле ротора наиболее часто выходят из строя подшипники, уплотнения, сливные втулки, скребки, щитки и выгрузочные окна. Поэтому центрифугу и ротор разбирают в объеме, необходимом для ремонта или замены указанных деталей.

При большом износе выгрузочных окон производят наплавку выработанных мест и зачистку их до номинального размера. Подшипники, уплотнения, сливные втулки и скрепки заменяют новыми.

Втулки должны заменяться по мере износа, чтобы не допустить повреждения ротора. Замена втулок должны производиться только парами. Заменяется дефектная втулка и та, что напротив.

Проверяется состояние посадочных поверхностей ротора, шнека и крышек на отсутствие забоин, вмятин и других повреждений. Кроме этого обязательным пунктом является и восстановление шеек валов. Для этого применяют наплавку однородного материала. Обязательно будет проведена и



дальнейшая обработка, а шейка будет доведена до нужного номинального размера. Проверяется состояние резьбовых поверхностей и крепежа. Изношенный крепеж подлежит замене.

После ремонта ротор в обязательном порядке подвергают динамической балансировке.

### **3.3.2 Ремонт редуктора**

В процессе эксплуатации редуктора чаще всего выходят из строя детали с самым высоким уровнем нагрузки, а это солнечные шестерни и вал-шестерни, сателлиты, бронзовые втулки и шайбы, шарикоподшипники, манжеты и резиновые кольца уплотнений. Для ремонта редуктор разбирают. Пришедшие в негодность детали заменяют, промывают все детали в уайт-спирите или керосине и высушивают сжатым воздухом.

Осмотреть торцовые поверхности дистанционных шайб. Шайбы с повышенным износом подлежат замене. Проверить гайки и гнезда под подшипниками; на них не допускаются забоины, царапины и повышенный износ. Осмотреть и заменить изношенные манжетные уплотнения и крепеж.

Заменяемые сателлиты, бронзовые втулки и шайбы комплектуют по весу с разницей не более 3 гс. Вывернутые болты обычно завертывают в их гнезда согласно маркировке. Болты заменяют одинаковыми по весу. Редуктор собирают полностью и заливают маслом АК-15 или автолом 18; затем производят его обкатку в центрифуге.

Редуктор имеет две резьбовые пробки для наполнения и слива масла. Пробки сделаны из магнитного сплава. Они притягивают металлические опилки из смазочного масла.

Уровень масла в редукторе должен проверяться перед началом эксплуатации, а затем каждую неделю или всякий раз при смазке подшипников. Уровень масла проверяется при отклонении заливной пробки на 64 градуса от вертикали, правильный уровень масла замеряется по нижнему краю отверстия. Магнитные сливные пробки также должны проверяться для удаления металлических опилок. Подающая труба должна регулярно проверяться на наличие признаков износа.

Корпусы подшипников должны ежедневно проверяться на наличие неисправностей, признаков нехарактерного шума или изменения цвета.

### **3.3.3 Ремонт вала**

Восстановление посадок пары вал — подшипник. Для ремонта этой пары применяются два способа: восстановление шейки вала до минимального размера и создание натяга в сопряжении за счет уменьшения на соответствующую величину отверстия внутреннего кольца подшипника хромированием.

Восстановление шейки вала производится в указанной ниже последовательности.

1. Подготовка шеек вала под наращивание слоя металла в соответствии с выбранным способом наращивания (наплавка, хромирование и др.).

2. Наращивание слоя металла.

3. Проверка и исправление прямолинейности оси вала после восстановительных операций, связанных с нагревом вала и температурными деформациями. Правка валов производится с помощью ручных или гидравлических прессов, термическим способом или чеканкой.

4. Проверка и исправление технологических баз (центров).

5. Обработка наращенного слоя производится различными способами, в зависимости от способа нанесения металла и механических свойств последнего.

Отремонтированные валы должны удовлетворять следующим основным техническим условиям:

а) геометрические размеры отремонтированных шеек должны быть выполнены с допусками, установленными для номинальных размеров;

б) чистота их поверхности должна быть не ниже  $\sqrt{7}$ .

в) отклонение основных и вспомогательных баз от оси не должно превышать 0,03 мм.

Восстановление шеек валов электродуговой и газовой наплавкой рекомендуется для валов из хорошо свариваемых сталей (X18H10T, X17H13M3T и др.). Наплавка непосредственно по изношенной поверхности не рекомендуется, так как в результате обработки обнажится переходный слой металла, обладающий худшими механическими свойствами. Поэтому наплавляемую поверхность подвергают предварительной механической обработке на токарном станке. Толщина слоя металла, подлежащего снятию перед сваркой, составляет 0,5-1,5 мм, в зависимости от диаметра вала.

Проверка и исправление технологических баз (центров) производятся на токарных станках с установкой вала по изношенным поверхностям основных и вспомогательных баз. При этом вал устанавливается одним концом в универсальный четырехкулачковый патрон, другим в люнет. Установку проверяют рейсмусом и индикатором. Контроль установки должен выполняться по поверхностям, наиболее удаленным друг от друга. Центровые отверстия исправляются резцом или центровочным сверлом поочередно с каждой стороны.

Наращенный слой обрабатывается на токарных станках чистовыми резцами различных типов. Наилучшие результаты дает шлифование на круглошлифовальных станках. При отсутствии последних можно использовать шлифовальные головки, устанавливаемые на суппортах токарных станков. Станки в этом случае должны обеспечивать точность вращения шпинделя с биением центрального отверстия не более 0,02 мм

Восстановление шеек валов хромированием. При правильно подготовленной поверхности деталей и соблюдении условий электролиза сцепление хрома с чугуном, сталью, никелем и другими металлами отличается высокой прочностью. Так, прочность сцепления хрома со сталью при испытании на сдвиг достигает 30 кгс/мм<sup>2</sup>.

Предел прочности хрома на растяжение для слоя толщиной до 0,1 мм составляет 50-60 кгс/мм<sup>2</sup>, для слоя 0,5 мм – 16 - 30 кгс/мм<sup>2</sup>. Твердость электролитического хрома достигает 1000 - 1100 НВ. Толщина слоя покрытия, как правило, не должна превышать 0,3 мм.

Проверку и исправление технологических баз (центров) можно производить до хромирования, так как температура электролита не превышает 90°С.

Подготовка вала под хромирование заключается в шлифовании и полировании шеек до необходимого размера с таким расчетом, чтобы после хромирования и окончательной обработки оставался слой хрома толщиной не менее 0,03 мм и не более 0,2 мм на сторону. Нарощенный слой шлифуется на круглошлифовальных и токарных станках.

Правка искривленных валов. Чтобы получить представление об искривлении вала, рекомендуется проверить его в центрах токарного станка; при длинных и тяжелых валах устанавливается люнет. Перед проверкой необходимо убедиться в отсутствии биения центров токарного станка. Биение проверяется на суппорте станка индикатором, кнопка которого упирается в острие центра. При вращении оно не должно превышать 0,01 – 0,02 мм. При большом биении центр следует заменить.

Если вал вращается в центрах, то показания индикатора, кнопка которого опирается на вал у его конца, не должны превышать 0,02 мм. Медленно вращающийся вал проверяется индикатором по ряду сечений, отстоящих друг от друга на расстояние 200— 300 мм; точки окружности вала, имеющие наибольшее биение, отмечаются мелом. Одновременно результаты измерений наносятся на эскиз, вычерченный на миллиметровой бумаге (масштабы длины вала и биений выбираются разными для большей наглядности изображения). Во избежание ошибок биение измеряется несколько раз и считается правильным при совпадении результатов.

Отклонение оси вала в соответствующих сечениях откладывается от теоретической оси вниз или вверх (соответственно знаку отклонения) в увеличенном масштабе. Полученные таким образом точки соединяются между собой прямыми линиями, ломаная линия представляет собой эскиз действительной оси вала.

В большинстве случаев наблюдаются искривления вала в одной плоскости. Если же максимальное биение в отдельных сечениях находится в разных плоскостях, то это должно быть отмечено на эскизе в угловых градусах для каждого сечения и учтено при правке.

Необходимо учитывать, что величина искривления оси равна половине максимального биения, замеренного индикатором. Правка вала заключается либо в укорочении растянутых волокон выпуклой стороны вала, либо в удлинении сжатых волокон вогнутой стороны. Укорочение волокон на выпуклой стороне, достигаемое местным нагревом, представляет собой термический способ правки. Для удлинения сжатого участка вала применяют чеканку. Несмотря на преимущества термического способа правки вала, его нельзя признать лучшим из-за громоздкости, опасности пережога, а также

потому, что для осуществления его необходимы специальная установка и высокая квалификация исполнителей.

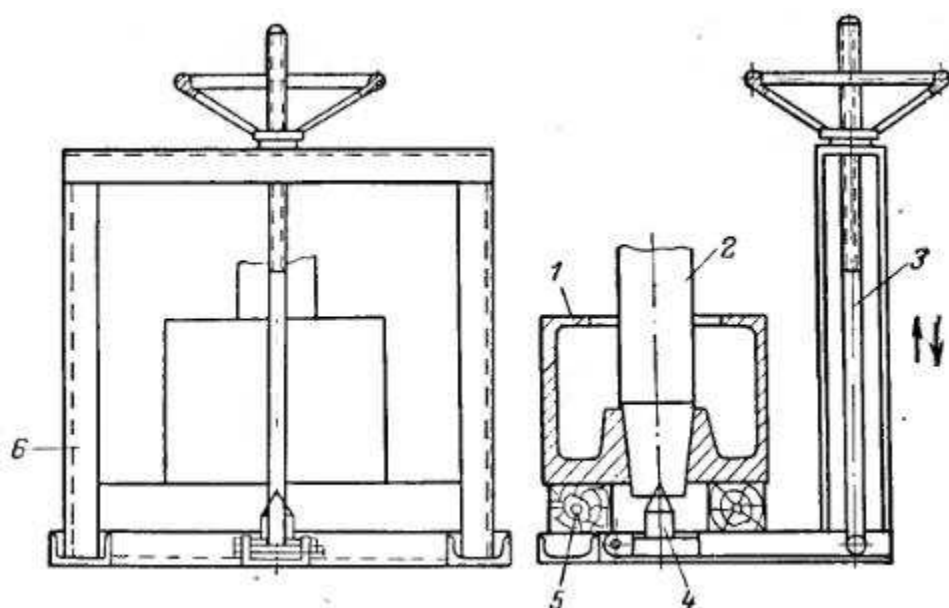
При правке чеканкой вал укладывают вогнутой стороной вверх. В месте наибольшего прогиба под него устанавливают (на станину токарного станка) жесткую опору с прокладкой из твердого дерева или отоженной меди. Укладывают вал таким образом, чтобы при чеканке его вес способствовал удлинению волокон вогнутой части. Для этого его конец, находящийся ближе к опоре, зажимают в передней бабке станка (или иным способом).

На другой конец вала нажимают с помощью эксцентрика, установленного на задней бабке станка, применяя подвеску груза, натяжение болтами или другой способ. Величину нажима необходимо контролировать индикатором, чтобы он не привел к появлению остаточных деформаций. При небольших искривлениях предварительный нажим не требуется.

Процесс чеканки заключается в наклепывании вала на участке, расположенном над установленной опорой. Для этого используется чеканка с тщательно закругленными краями и поверхностью, пригнанной по окружности вала. На поверхность вала во избежание ее повреждения укладывается защитная подкладка, выгнутая по валу (изготавливается из листа отоженной красной меди толщиной 2 – 3 мм). Места максимального искривления наклепывают ударами (по чеканке) молотка весом 2 – 5 кгс, чеканится до трети окружности, отмеченной мелом на вале.

Наклеп производят от середины отметки к краям; удары наносят по переставляемой чеканке справа и слева от отметки. Правку вала нужно выполнять очень осторожно, так как уже при первых ударах по чеканке начинается исправление оси. После первой пробной чеканки (до 10 ударов) вал снова проверяют индикатором, а на график наносят ось первой чеканки. Режим наклепа устанавливается после первой пробы. При этом учитывается число ударов по чеканке и достигнутое исправление прогиба. Постепенно, за две – четыре чеканки, исправляют ось вала. После каждой правки вал проверяют индикатором; результаты измерений наносят на график. Поверхность выправленного вала следует тщательно зачистить, устранив мелкие вмятины (глубиной примерно 0,25 мм), которые могут появиться в процессе чеканки.

Притирка конусной пары вал — ротор. После ремонта или замены вала или ротора центрифуги необходимо проверить прилегание конусных поверхностей (площадь прилегания должна составлять не менее 80%). Притирка вала с ротором производится в специальном приспособлении (рис. 3.1). Для облегчения притирки и исключения «заедания» вал поддерживается упором — центром 4. По мере притирки вал опускается в ротор винтом 3 с помощью рычажной системы. Во время притирки вал необходимо время от времени поворачивать вокруг оси на 70 – 90°.



1 – ротор; 2 – вал; 3 – винт; 4 – упор; 5 – опора; 6 - корпус

Рисунок 3.1 – Приспособление для притирки конусной пары вал - ротор

### 3.3.4 Ремонт ремней

Натяжение ремня необходимо проверять регулярно вместе со смазкой подшипников.

Процедура натяжки ремня должна быть выполнена перед началом эксплуатации новой центрифуги и всякий раз при замене ремня.

Очень важно, чтобы ремень был правильно натянут. Ремень, проскальзывающий на шкиве, подвергается преждевременному износу. С другой стороны, если ремень натянут слишком сильно, это приведет к преждевременному износу подшипников.

Новые ремни должны подтягиваться каждые два часа в течение первого дня работы. В дальнейшем необходимость подтягивания ремней отпадет, поскольку их длина будет практически постоянной. При замене ремней, никогда не стоит перетягивать их через ребра шкива. Необходимо ослабить крепление мотора перед установкой ремней. Перетяжка ремней может привести к преждевременной неисправности. Когда изнашиваются один или несколько ремней, следует заменить целиком комплект ремней на новый.

Хороший способ проверить натяжение ремней – это постучать по ним сжатым кулаком. При этом слабый ремень будет выглядеть вялым, правильно же натянутый ремень будет вибрировать и выглядеть упруго. Следует проверять натяжение ремня периодически.

Долговечность ремней и правильность их работы в большей степени зависит от правильного ухода. Попадание масла или смазки на них может укоротить их ресурс. В этом случае ремни необходимо тщательно очистить с помощью растворителя.

### 3.3.5 Ремонт подшипников

Устранение неисправности подшипников качения. При ремонте узлов с подшипниками качения последние тщательно осматривают, чтобы проверить, нет ли в них признаков усталостного износа беговых дорожек и тел качения. Если такой износ обнаружен, подшипники обязательно заменяют. Замене подлежат также подшипники с выкрошенными бортами, деформированными сепараторами, со значительной ржавчиной на рабочих и посадочных поверхностях. Посадочные поверхности восстанавливают описанными ниже способами.

При чрезмерном нагреве подшипников (выше 70°C) необходимо проверить наличие смазки и исправность смазочных уплотняющих устройств. Излишняя смазка, как и недостаточная, вызывает перегрев.

Загрязненные фетровые уплотнения нужно хорошо промыть в чистом керосине, а изношенные заменить. Войлочные (фетровые) кольца должны умеренно плотно прилегать к шейкам вала: между кольцом и валом должен проходить щуп толщиной не более 0,1 мм.

В лабиринтных уплотнениях кольцевые канавки должны быть без выбоин и вмятин. Нормальная величина зазора в радиальном направлении 0,3 – 0,6 мм, в осевом – 1,5 – 3 мм.

Уплотнения манжетного типа должны плотно охватывать вал и правильно закрепляться в гнезде. Щуп толщиной 0,1 мм должен с трудом проходить между валом и манжетой, в противном случае манжеты подлежат замене.

Восстановление ослабленных посадок подшипников качения. В процессе эксплуатации центрифуг не исключено ослабление посадок подшипников качения. При этом может наблюдаться износ от проворачивания внутреннего кольца подшипника относительно шейки вала или наружного кольца относительно отверстия корпуса. Восстановление посадок может быть выполнено с заменой подшипников или без нее.

Замена коренных подшипников качения производится после того, как подшипники отработали определенное количество часов, указанное в паспорте центрифуги, а также при выходе подшипников из строя.

Выход подшипников из строя можно определить по издаваемому ими звуку. Свист или резкий (звонящий) шум указывает на то, что в подшипнике нет смазки, шарики (ролики) зацеплены между беговыми дорожками. Гремящий шум (частые звонкие шумы) означает, что на шариках, роликах или кольцах появились язвины или на них попала абразивная пыль либо грязь. Глухие улары сигнализируют об ослаблении посадки подшипников.

Лучшим вариантом является замена неисправных подшипников проектными, однако в отдельных случаях для этого могут быть использованы и подшипники других типов.

Для замены подшипников необходимо разобрать центрифугу настолько, чтобы можно было снять корпус с главного вала или корпус подшипников. Перед заменой подшипников качения следует проверить точными

измерительными инструментами (микрометрами и микроштихмассами) размеры посадочных мест под подшипники в валах и корпусах. Посадки подшипников указаны в паспортах центрифуг, на чертежах общих видов машин.

Замена подшипников скольжения (втулок) производится при ненормальной работе соответствующих сопряжений, о которой свидетельствует появление стука, вибраций, перекосов и др. Для замены втулок необходимо снять с центрифуги и разобрать механизм, после чего проверить посадку сопряжения вал — втулка.

Эти сопряжения изготавливаются по скользящей или ходовой посадке. При ослаблении посадки втулку выпрессовывают из корпуса и заменяют новой. Можно также расточить старую втулку на токарном, расточном или сверлильном станке; при этом деталь (узел) устанавливают на станок по базовым поверхностям. Размеры новой втулки определяют после удаления старой. При этом наружный диаметр выполняют по первой прессовой посадке третьего класса точности, а внутренний — по второму классу системы отверстия. Втулки запрессовывают на прессах или молотками с помощью оправок. Рекомендуется охлаждение втулки перед запрессовкой в жидком азоте и свободная установка ее в отверстие.

После ремонта или замены, подшипники должны быть точно отцентрованы. Для центровки блоков подшипников на станине центрифуги используется специальная центрирующая ось. Процедура центровки должна быть выполнена в специальном цехе компании.

Роторы могут переставляться с одной станины на другую только тогда, когда корпуса блоков подшипников остаются каждый на своем месте.

Корпус блока подшипников имеет произвольно расположенные посадочные штифты. Таким образом, набор корпусов опорных подшипников совпадает только с той станиной, на которой он был установлен при поставке.

Для гарантии точной установки корпуса опорных подшипников используются конические штифты в том случае, когда корпус снимается. Необходимо всегда устанавливать центровочные штифты перед тем, как затянуть болты крепления корпуса опорных подшипников.

### **3.3.6 Ремонт резьбовых и шлицевых соединений**

Изношенные или поврежденные крепежные болты и винты не ремонтируют, а заменяют новыми. Из резьбовых отверстий извлекают обломки болтов или шпилек.

Детали значительного размера с изношенной наружной резьбой ремонтируют, срезая старую резьбу и нарезаая новую до ближайшего диаметра по стандарту. Если условия прочности не позволяют, то на деталь насаживают втулку с резьбой или наплавляют изношенную резьбовую поверхность с последующей нарезкой резьбы.

Изношенную или сорванную резьбу в отверстиях обычно не восстанавливают. В этих случаях поступают следующим образом:

а) отверстие просверливают на большую глубину (если это возможно) и снова нарезают в нем резьбу; в углубленное отверстие вворачивают удлиненный винт (болт);

б) отверстия рассверливают, нарезают новую резьбу большего диаметра с установкой новых болтов (винтов), ступенчатых шпилек или втулок с наружной и внутренней резьбой; втулку стопорят винтом, штифтом или закрепляют эпоксидным клеем;

в) изношенное резьбовое отверстие заглушают, заваривают и высверливают новое отверстие.

Шлицы небольших валиков обычно не ремонтируют, детали заменяют новыми. Шлицы крупных валов можно ремонтировать, раздавая зубья чеканами вручную. Для этого вдоль шлицев наносят по одной продольной риске, затем зубилом вдоль рисок надрубают канавки, которые раздают чеканом. После раздачи канавки на шлицах заваривают электросваркой, вал отжигают, рихтуют, шлицы обрабатывают под номинальный размер и подвергают термообработке. Шлицы в отверстиях не ремонтируют, а подгоняют по ним шлицевые валы.

### **3.4 Неполадки центрифуги для очистки бурового раствора**

В таблице 3.2 представлены основные неполадки центрифуги для очистки бурового раствора, возможные причины их появления и основные методы устранения данных неполадок.



Таблица 3.2 – Возможные неполадки и пути их устранения

Признаки неполадок	Возможные причины	Пути устранения
Двигатели не включаются	Недостат. мощность	Восстановить мощность
	Переключатель вибраций не установлен в исходное положение	Установить переключатель вибраций в исходное положение
	Предельный выключатель гидравлической муфты отключен	Установить выключатель в исходное положение
Возникновение вибраций	Средние вибрации в период включения и останова	Регулировка не требуется
	Нарушение равновесия барабана, касание стенок	Определить и устранить причину
	Резиновые прокладки потеряли эластичность	Заменить резиновые прокладки
Расплавление элемента гидравлической муфты	Избыток твердых частиц вызывает перегрузку	Уменьшить скорость подачи
	Объём или тип смазки не соответствует положенному	Заменить или привести в норму объём смазки
Переувлажнение твёрдых частиц на выкиде	Слишком большая подача бурового раствора	Уменьшить подачу бурового раствора
	Дифференциал на шнеке слишком высок	Заменить шкив двигателя обратного привода
Продолжительное расцепление муфты	Большое накопление твёрдых частиц в барабане	Промывка барабана
	Избыток твёрдых частиц в буровом растворе	Уменьшить подачу бурового раствора
Щуп в коробке передач	Недостаток смазки или неправильный её выбор	Добавить или заменить смазку
	Износ коробки передач	Заменить детали кп.
	Износ подшипников	Заменить подшипники

### 3.5 Вывод по разделу

В данном разделе работы было разработано руководство по безопасной эксплуатации центрифуги для очистки бурового раствора. Разработаны меры безопасности при эксплуатации производственного объекта и мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту центрифуг для очистки бурового раствора, в частности: организация ремонтных работ на станциях обслуживания, методы контроля деталей центрифуги с целью определения их пригодности к эксплуатации, ремонт наиболее подверженных износу деталей центрифуги, возможные неполадки и пути их устранения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе изучены: устройство, принцип работы существующих конструкций центрифуг для очистки бурового раствора, выявлены их проблемы, проведен патентно – информационный обзор существующих конструкций, предложен вариант модернизации, проведен технологический и конструкторский расчет параметров центрифуги, разработаны мероприятия по антикоррозийной защите центрифуги, разработаны мероприятия по эксплуатации и ремонту агрегата.

Модернизация центрифуги для очистки бурового раствора заключается в замене сопла для выхода жидкой фазы на новую модель, выполненную в виде фланца и корпуса с пластиной. В качестве прототипа использовалась модель из авторского свидетельства №2428259. В результате модернизации мы получили такие технологические преимущества, как:

- снижение энергопотребления;
- увеличение мощности;
- улучшение контроля твердой фазы за счет съёмной пластины, выполненной в корпусе сопла.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТО 4.2-07-2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности [текст] / разработ. Е. Н. Осокин, Л. В. Белошапко, М. И. Губанов. – Введ. 09.01.2014. – Красноярск: ПЦ БИК СФУ, 2014. – 60 с.
2. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов, А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.
3. Булатов, А. И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов / А. И. Булатов, Ю. М. Проселков, С. А. Шаманов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 1007 с.: ил.
4. Добик, А. А. Исследование и разработка техники и технологии регулирования свойств буровых промывочных жидкостей с использованием центрифуг : автореф. дис. ... д-ра. техн. наук : 01.07.08 / Добик Александр Александрович. – Москва, 2008. – 50 с.
5. Калинин, А. Г. Справочник инженера-технолога по бурению глубоких скважин / Под ред. проф. А. Г. Калинина / А. Г. Калинин, Р. А. Ганджумян, А. Г. Мессер. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2005. – 808 с.: ил.
6. Баграмов, Р. А. Буровые машины и комплексы: учеб. для вузов./ Р. А. Баграмов. – М.: Недра, 1988. – 501 с.: ил.
7. Добик, А. А. Выбор центрифуг для очистки бурового раствора / А. А. Добик, В. И. Мищенко // Бурение и нефть: специализированный журнал. – 2015. – № 5. – С. 38–40.
8. ГОСТ 28705-90 Центрифуги промышленные. Технические требования. – Введ. 01.07.1991. – Москва : Стандартинформ, 2005. – 9 с.
9. ГОСТ 31836-2012 Центрифуги промышленные. Требования безопасности. Методы испытаний. – Введ. 01.01.2014. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 20 с.
10. ГОСТ Р 54321-2011 Машины и оборудование для пищевой промышленности. Центрифуги для производства пищевых растительных масел и жиров. Требования по безопасности и гигиене. – Введ. 01.07.2012. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 63 с.
11. ГОСТ Р 52768-2007 Центрифуги для производств, работающих с радиоактивными средствами. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 01.01.2008. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 18 с.
12. ГОСТ 8340-84 Центрифуги маятниковые. Общие технические требования. – Введ. 01.07.1985. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 5 с.
13. ГОСТ 28314-89 Центрифуги для обезвоживания продуктов обогащения угля. Типы, основные параметры и технические требования. – Введ. 01.01.1991. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 5 с.
14. Крец, В. Г. Буровое оборудование: учеб. пособие. / В. Г. Крец и др. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 121 с.

15. Дахин, О. Х. Центрифуги: учеб. пособие / О. Х. Дахин, Н. О. Сиволобова. – Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2006. – 61 с.
16. Лукьяненко, В. М. Промышленные центрифуги / В. М. Лукьяненко, А. В. Таранец. – М., «Химия», 1974. – 376с.
17. Шлык, Ю. К. Механико-гидравлический канал связи с забоем при турбинном бурении скважин / Ю. К. Шлык, М. Р. Мавлютов, Р. Х. Санников. – Тюмень: «Вектор Бук», 1999. – 200 с.
18. Чарыев, О. М. Машины, механизмы и оборудование нефте – и газодобывающих промыслов: учебное пособие. Часть 1. Оборудование для эксплуатации добывающих скважин / О. М. Чарыев, Б. А. Абсадилов. – Ташкент: ТашГТУ, 2008. – 142 с.
19. Чарыев, О. М. Машины, механизмы и оборудование нефте – и газодобывающих промыслов: учебное пособие. Часть 2. Оборудование для ремонта скважин, сбора, подготовки и транспорта добываемой продукции, механизации наземных работ при обслуживании нефте – и газодобывающих промыслов / О. М. Чарыев, Б. А. Абсадилов. – Ташкент: ТашГТУ, 2008. – 142 с.
20. Рахмилевич, З. З. Справочник механика химических и нефтехимических производств / З. З. Рахмилевич, И. М. Радзин, С. А. Фарамазов. – Москва: Химия, 1985. – 592 с.
21. Соколов, В. И. Современные промышленные центрифуги / В. И. Соколов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1967. – 524 с.
22. Скобло, А. И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов / А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.
23. Полещук, Л. М. Центрифуги: каталог-справочник / Л. М. Полещук, Л. А. Валяева, А. А. Нестерович. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: МАШГИЗ, 1963. – 104 с.
24. Никищенко, С. Л. Нефтепромысловое оборудование: Учебное пособие / С. Л. Никищенко. – Волгоград: «Ин-Фолио», 2008. – 416 с.
25. Кузнецов, В. С. Обслуживание и ремонт бурового оборудования / В. С. Кузнецов. – Москва: «Недра», 1973. – 344 с.
26. Оборудование для добычи нефти и газа: В 2 ч. / В. Н. Ивановский [и др.]. – Москва: ГУП «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – Ч. 1. – 768 с.
27. Оборудование для добычи нефти и газа: В 2 ч. / В. Н. Ивановский [и др.]. – Москва: ГУП «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – Ч. 2. – 792 с.
28. Нефтепромысловое оборудование: Учебник для ВУЗов / В. Н. Ивановский [и др.], Под общ. ред В. Н. Ивановского. – Москва: «ЦентрЛитНефтеГаз», 2006. – 720 с.
29. Иванец, К. Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация / К. Я. Иванец, А. Н. Лейбо. – Москва: «Химия», 1966. – 344 с.

30. Козулин, Н. А. примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности / Н. А. Козулин, В. Н. Соколов, А. Я. Шапиро. – Ленинград: Ленингр. отд-ние изд. Машиностроение, 1965. – 492 с.

31. Березовский, Ю. Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных техникумов/ Ю. Н. Березовский, Д. В. Чернилевский, М. С. Петров; Под ред. Н. А. Бородина. – Москва: Машиностроение, 1983. – 384 с.

32. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. / В. И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой. - Изд. 9-е, перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2006 г.

33. ГОСТ 8459-78 Центрифуги горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка. Типы, основные параметры и размеры. – Введ. 01.01.1079. – Москва : Стандартиформ, 1079. – 7 с

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРИФУГ ДЛЯ ОЧИСТКИ БУРОВОГО РАСТВОРА

#### Отчет о патентных исследованиях

Выполненный в рамках ВКР по теме «Модернизация центрифуги  
для очистки бурового раствора»

Руководитель \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Е.А. Соловьёв

Выпускник \_\_\_\_\_ А.Ю. Познахарев

Красноярск 2017

## **Отчёт о патентных исследованиях**

### **Общие данные об объекте исследования**

Объектом исследования является центрифуга для очистки бурового раствора. Область применения устройства – циркуляционная система буровой установки, блок очистки бурового раствора.

Поиск российских и зарубежных патентов проводился по базе данных Федерального института промышленной собственности ([www.fips.ru](http://www.fips.ru)) и электронного ресурса: <http://ru.espacenet.com> с использованием ключевых слов: центрифуга, буровой раствор (centrifuge, drilling mud).

Глубина патентного поиска – 15 лет. Начало поиска: май 2003 г., окончание поиска: апрель 2017 г.

### **Введение**

Центрифуга для очистки бурового раствора предназначена для отделения мелкой твердой фазы от жидкой за счет центробежной силы.

В данном отчёте представлен анализ патентов (по данным на май 2017 г.), описывающих принцип модернизации центрифуги для очистки бурового раствора.

При проведении анализа патентных документов ставились следующие задачи:

- оценка технического уровня и тенденции развития объекта исследования;
- определение патентной чистоты разработанной в рамках выполнения ВКР центрифуги.

### **Технический уровень и тенденции развития объектов исследования**

Рассмотрим существующие способы модернизации центрифуги для очистки бурового раствора.

1) Декантирующая центрифуга 1 на рис. 4.1 имеет полый резервуар 2 с разделительной камерой, содержащей шнековый транспортер 3, имеющий тело 4 со шнеком с пластиной 7 транспортера, которая навита в виде множества витков. Тело 4 по существу является цилиндрическим, а на одном конце имеет коническую часть 5. В шнековом транспортере 3 выполнены выпускные отверстия 6 для материала, подлежащего разделению, а в резервуаре 2 выполнены выпускные отверстия 14 для отделенной тяжелой фазы. Как показано на рис. 4.1, легкая фаза 12 расположена ближе всего к телу шнекового транспортера 4, тогда как тяжелая фаза 13 расположена с внутренней стороны резервуара 2. Легкая фаза уносится через выпускной край 10 в резервуаре. Тяжелая фаза перемещается вращением шнека по направлению к выпускным отверстиям 14 в резервуаре у его конической части. На рис. 4.1 показана отражательная перегородка 8, содержащая кольцеобразный диск, который

является перпендикулярным продольной оси или направлению по оси шнекового транспортера [1].

На рис. 4.2 показан шнековый транспортер 3, который, как и шнековый транспортер на рис. 4.1, снабжен отражательной перегородкой 8 в форме кольцеобразного диска и впускным отверстием 6. На рис. 4.2 пунктирными линиями показана огибающая поверхность для витков шнека пластины 7 транспортера. Огибающая поверхность содержит цилиндрическую часть 15 и коническую часть 16. Огибающая поверхность подходящим образом соответствует форме резервуара, в который установлен шнековый транспортер [1].

Отражательная перегородка 8 установлена около перехода между конической частью 16 и цилиндрической частью 15, и она по существу разделяет центрифугу или разделительную камеру на цилиндрическую разделительную часть 17 и коническую выпускную часть 18. В варианте осуществления выпускная часть 18 содержит, однако, небольшой участок цилиндрической части 15 [1].

Шаг витков шнека изменяется вдоль шнекового транспортера 3 в его направлении 20 по оси. Таким образом, в точке или в местоположении 21 по оси имеется резкий скачок шага приблизительно на 58%. В местоположении 21 отмечается из-за изменения, образованного скачком, линия раздела между разделительной частью 17 и переходной частью 19 между разделительной частью 17 и выпускной частью 18 [1].

Шаг в варианте осуществления является постоянным от местоположения 21 до выпускных отверстий для тяжелой фазы [1].

Шаг витков шнека в разделительной части 17 в этом варианте уменьшается в направлении 20 по оси так, что шаг является самым маленьким непосредственно перед переходной частью 19. Ввод 6 расположен в разделительной части 17 непосредственно перед переходной частью 19 [1].

На рис. 4.3 показан другой вариант осуществления, имеющий отражательную перегородку 8, проходящую в направлении по оси. Пластина 7 шнекового транспортера 3 имеет в местоположении 21 скачок шага, который, следовательно, больше в переходной части 19, чем в разделительной части 17. В разделительной части 17 шаг является постоянным. Из-за протяженности по оси отражательной перегородки 8 линия раздела между переходной частью 19 и выпускной частью 18, как рассматривается, лежит в центральной точке 23 по оси отражательной перегородки. Поскольку местоположение 21 находится несколько ниже по потоку от начальной точки 24 отражательной перегородки, местоположение 21 будет лежать чуть больше, чем в половине шага перед центральной точкой 23 отражательной перегородки. Шаг пластины 7 транспортера, в известных до сих пор шнековых транспортерах, равен размеру прохода 25 по направлению оси, формируемого между смежными витками пластины 7 транспортера, а угол наклона пластины 7 транспортера в разделительной части 17 по существу меньше  $45^\circ$  относительно направления по касательной [1].



На рис. 4.4 изображен вариант осуществления, в котором шнек шнекового транспортера 3 содержит три пластины 7' транспортера, имеющие в разделительной части 17 угол наклона по существу больше  $45^\circ$  относительно направления по касательной. В местоположении 21' по направлению оси, где изменяется шаг, угол наклона изменяется по направлению на  $45^\circ$ , после чего номинальная скорость перемещения увеличивается [1].

В местоположении 21' элемент 8' отражательной перегородки проходит от каждой пластины 7' транспортера, причем этот элемент отражательной перегородки проходит как часть витка, имеющего больший шаг, чем пластины 7' транспортера в переходной части 19 и выпускной части 18, но с тем же направлением вращения, так что элементы отражательной перегородки 8' проходят от расположенной ниже по потоку боковой поверхности 26 пластины 7' транспортера к расположенной выше по потоку боковой поверхности 27 смежной пластины 7' транспортера. В показанном на рис. 4.4 варианте осуществления элементы 8' отражательной перегородки имеют такой же шаг, как пластины 7' транспортера в разделительной части, но это не является обязательным [1].

Элементы отражательной перегородки 8' проходят от местоположения 21' и имеют шаг меньше  $90^\circ$  (направление по оси), а линия раздела между переходной частью 19 и выпускной частью 18 лежит в центральной точке 23 по оси элементов отражательной перегородки, скачок относительно номинальной скорости перемещения происходит больше чем на  $1/6$  ( $1/2 \times 1/3$  (3 - количество пластин транспортера)) пластины транспортера выше по потоку от переходной части, соответствующего больше, чем половине протяженности по оси прохода 25 между двумя смежными пластинами 7' транспортера в переходной части. [1]

Центрифуга с шнековым транспортером согласно изобретению работает следующим образом [1].

Подлежащий разделению материал, например водный осадок, подается в разделительную камеру через ввод 6. Осадок проходит по проходу 25, образованному пластиной 7 транспортера витка шнека, или по проходам 25, образованным пластинами 7' транспортера, по направлению влево на чертежах. Продвигаясь, тяжелая фаза осаждается, то есть образуется осадок, как показано на рис. 4.1 [1].

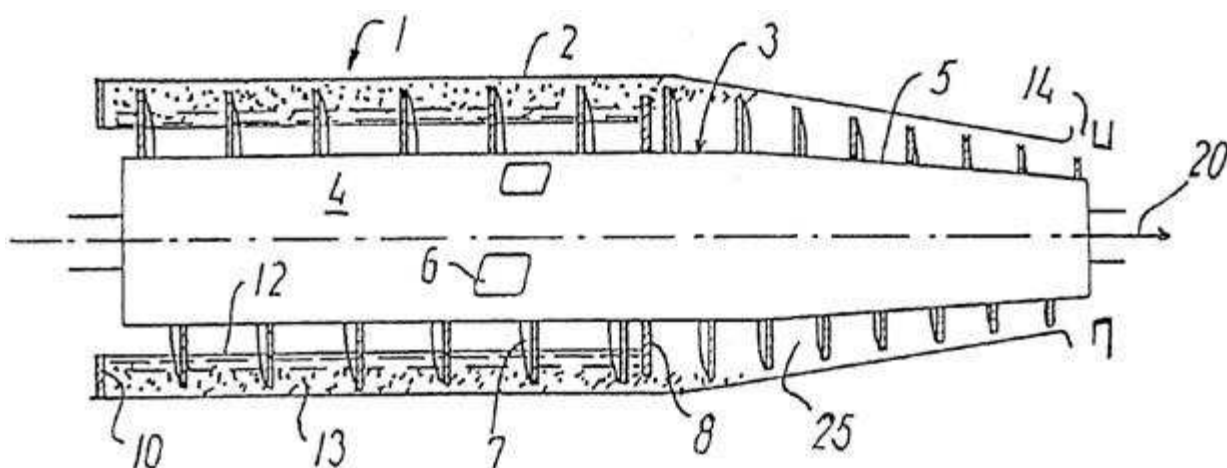
Шнековый транспортер 3 благодаря своему вращению относительно резервуара 2 сгребает осажденный осадок вправо на чертежах (направление вниз по потоку). Осадок сжимается в разделительной части 15 до местоположения 21 по направлению оси. Здесь осадок формирует слипшуюся, достаточно обезвоженную лепешку [1].

От местоположения 21 осадок ускоряется из-за изменения шага пластины 7 или пластин 7' транспортера. Местоположение 21 в варианте осуществления на рис. 4.2 расположено приблизительно за  $2/3$  витка перед точкой 21 пересечения витка 7 шнека с отражательной перегородкой 8, соответствующей расстоянию по оси между местоположением 21 и точкой 22 на  $2/3$  шага витка шнека или размеру прохода по направлению оси в этой точке. В вариантах осуществления на рис. 4.3 и 4.4 местоположение 21 расположено немного

больше, чем на  $1/2$  размера по оси прохода 25 выше по потоку от центральной точки 23 на оси отражательной перегородки 8 или элементов 8' отражательной перегородки. Таким образом, точка изменения скорости перемещения расположена достаточно далеко от отражательной перегородки 8, 8', чтобы перемещать осадок по периферии всей отражательной перегородки с повышенной скоростью [1].

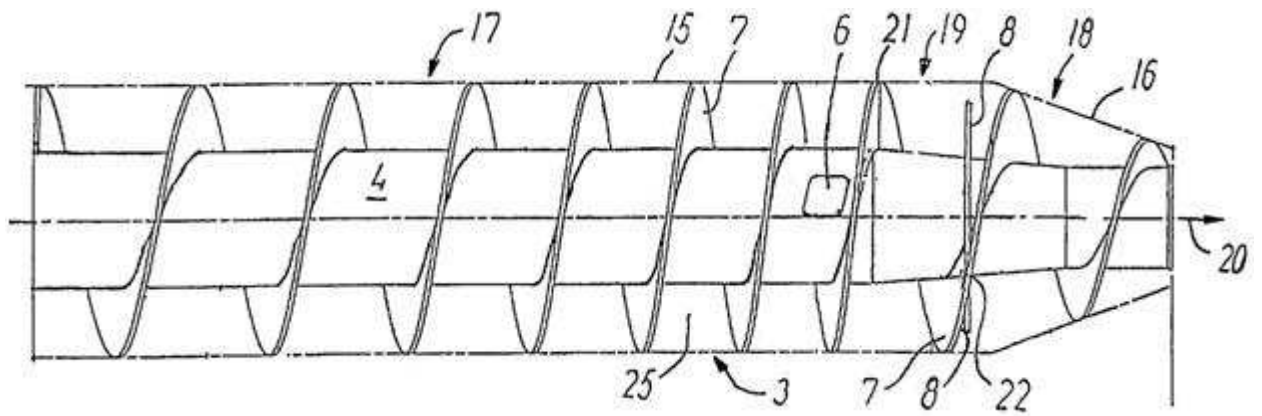
Пространство между периферией отражательной перегородки 8 и внутренней стенкой резервуара 2 меньше, чем толщина осадка в точке 21. Повышенная скорость в переходном участке 19 компенсирует до некоторой степени эту разницу. Однако эта компенсация несколько ниже 100%, поскольку 100% компенсация или больше может повлечь за собой риск, когда лепешка из осадка может быть растянута на кусочки, что может привести к прорыву легкой фазы под отражательной перегородкой 8 и за нее [1].

Увеличенная скорость также компенсирует уменьшенную площадь поперечного сечения конической части резервуара 2 в выпускной части 18 [1].



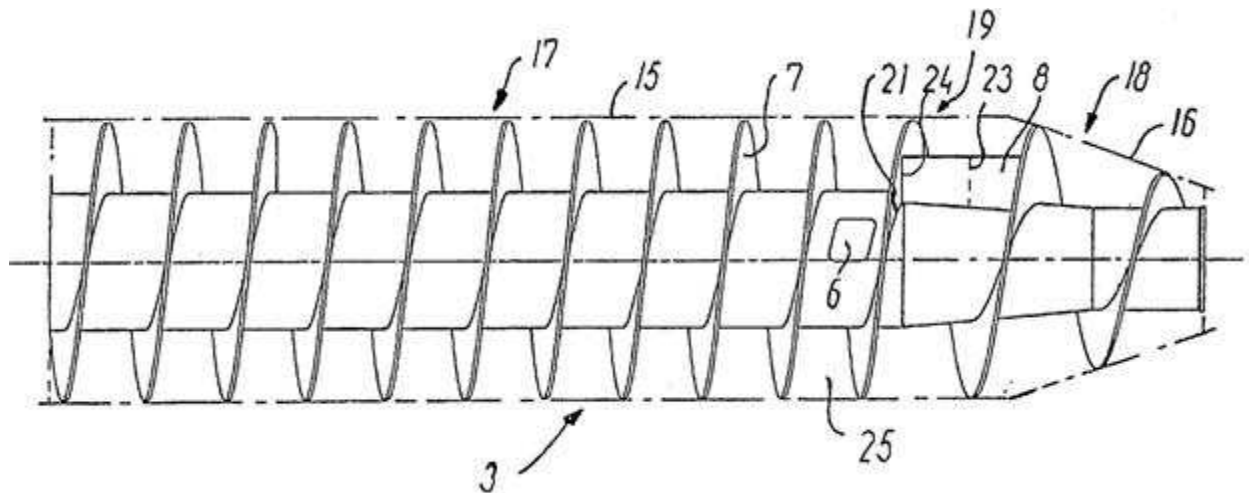
- 1 – декантирующая центрифуга; 2 – полый резервуар; 3 – шнековый транспортер; 4 – тело;  
 5 – коническая часть; 6 – впускные отверстия; 7 – пластина; 8 – отражательная перегородка;  
 10 – выпускной край; 12 – легкая фаза; 13 – тяжелая фаза; 14 – выпускные отверстия;  
 20 – направление изменения; 25 – проход

Рисунок 4.1 – Продольный разрез декантирующей центрифуги



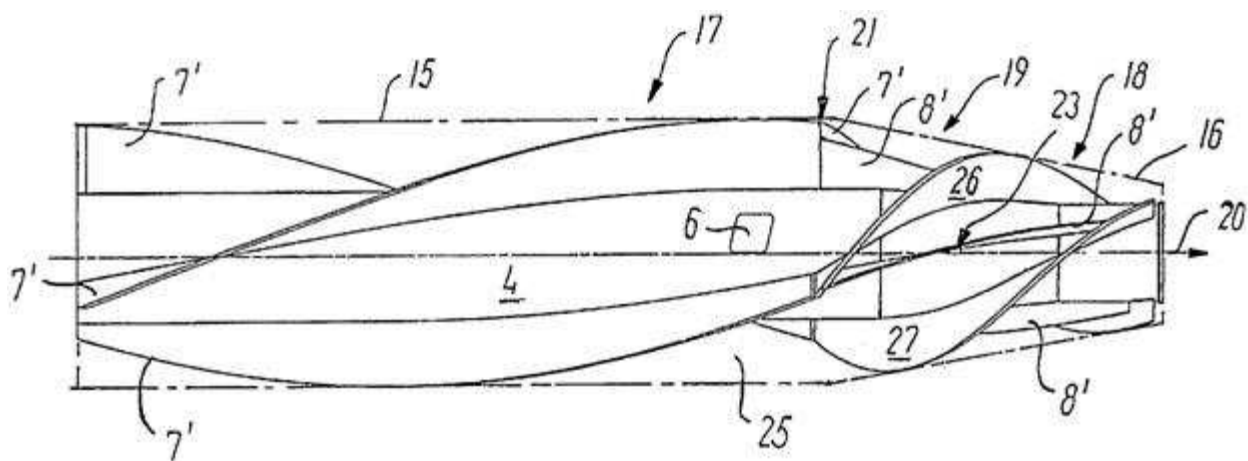
3 – шнековый транспортер; 4 – тело; 6 – впускные отверстия; 7 – пластина;  
 8 – отражательная перегородка; 15 – цилиндрическая часть; 16 – коническая часть;  
 17 – цилиндрическая разделительная часть; 18 – выпускная часть; 19 – переходная часть;  
 20 – направление изменения; 21 – линия раздела; 22 – точка витка; 25 - проход

Рисунок 4.2 – Шнековый транспортер в первом варианте



3 – шнековый транспортер; 6 – впускные отверстия; 7 – пластина; 8 – отражательная  
 перегородка; 15 – цилиндрическая часть; 16 – коническая часть; 17 – цилиндрическая  
 разделительная часть; 18 – выпускная часть; 19 – переходная часть; 21 – линия раздела;  
 23 – центральная точка перегородки; 24 – начальная точка перегородки; 25 – проход

Рисунок 4.3 – Шнековый транспортер во втором варианте



4 – тело; 6 – впускные отверстия; 7' – три пластина; 8' – элемент отражательной перегородки; 15 – цилиндрическая часть; 16 – коническая часть; 17 – цилиндрическая разделительная часть; 18 – выпускная часть; 19 – переходная часть; 20 – направление изменения; 21 – линия раздела; 23 – центральная точка перегородки; 25 – проход; 26 – боковая поверхность пластины; 27 – боковая поверхность смежной пластины

Рисунок 4.4 – Шнековый транспортер в третьем варианте

Плюсы:

- увеличение экономии процесса;
- повышения дренирования.

Минусы:

- повышается сложность изготовления шнека;
- возможно уменьшение срока службы шнека за счет уменьшения или увеличения прохода и изменения угла наклона пластины.

2) На рис. 4.5 изображена шнековая центрифуга 1 с имеющим горизонтальную ось вращения барабаном 3, в который помещен шнек 5. Барабан 3 и шнек 5 имеют в основном цилиндрическую форму, а также сужающийся участок, который в данном случае имеет коническую форму [2].

Проходящая в аксиальном направлении центральная питающая труба 7 служит для подачи центрифугируемого материала 8 через распределитель 9, в данном случае перпендикулярный к питающей трубе 7, в центрифугирующую камеру 11, между шнеком 5 и барабаном 3 [2].

Если, например, в центрифугу загружают шламообразную массу, то на стенках барабана оседают частицы твердого вещества. Жидкая фаза находится ближе к внутренней части центрифуги [2].

Установленный на подшипнике 6 шнек 5 испытывает вращение с немного большей или меньшей скоростью, чем барабан 3, и направляет центрифугированный осадок S из барабана 3 к коническому участку на разгрузочное устройство (здесь не показанное) [2].

Жидкость, напротив, течет к большей окружности барабана 3 в задней части его цилиндрического участка, а затем через затвор 15 поступает в камеру 17, аксиально примыкающую к собственно центрифугирующей камере и имеющую меньший, чем центрифугирующая камера, диаметр [2].

В камере 17 (рис. 4.6) для отвода жидкой фазы L находится срезающий диск 19, к которому примыкает отводящий канал 20, служащий для отвода жидкой фазы L из барабана 3. Срезающий диск 19 установлен без зазора непосредственно на неподвижной питающей трубе 7 [2].

Предпочтительно в конической части барабана 3 перед устройством для выгрузки твердой фазы (здесь не показанным) центрифуга 1 должна иметь второй сифонный диск 21, выступающий в радиальном направлении наружу из шнека 5 в центрифугирующую камеру 11, и погруженный в жидкость относительно уровня P1 [2].

Благодаря указанному погружению внутренняя, то есть центрифугирующая, часть центрифугирующей камеры 11 (в данном случае, расположенная справа от сифонного диска 21) герметично изолирована от внешней среды или окружающей атмосферы. В конусной части барабана 3 можно выполнить также дополнительные сифонные диски (здесь не показанные), чтобы влиять на консистенцию твердой фазы [2].

В камере 17, со стороны срезающего диска 19, обращенной к центрифугирующей камере, выполнен кольцевой заплечик 23, идущий радиально от внутренней поверхности окружности камеры 17 по направлению к центру [2].

Из-за того, что сифонный диск 21 и кольцевой заплечик в радиальном направлении перекрывают друг друга, при работе центрифуги между вторым сифонным диском 21 и кольцевым заплечиком 23 устанавливается уровень жидкости P1 благодаря тому, что оба этих элемента подогнаны друг к другу соответствующим образом [2].

Напротив, между расположенным ближе к срезающему диску 19 кольцевым заплечиком 23 и срезающим диском 19 уровень жидкости P2 доходит до впускного отверстия 25 срезающего диска. Уровень жидкости можно регулировать, слегка дросселируя срезающий диск 19 [2].

С противоположной кольцевому заплечику 23 стороны срезающего диска 19 камера 17 проходит в радиальном направлении внутрь до питающей трубы, то есть до меньшего диаметра, чем диаметр шнека 5, и далее, камера 17 переходит в аксиальный проход 27, к которому в аксиальном направлении примыкает служащее в качестве затворной камеры кольцевое пространство 29 и которое в свою очередь переходит в аксиальный отводящий канал 31 для затворной жидкости на внешней окружности питающей трубы 7 и отводящего канала 31 для центрифугируемого материала, причем отводящий канал 31 для затворной жидкости имеет меньший внутренний диаметр, чем проход 27, так что затворная жидкость, переливающаяся из затворной камеры 29, вытекает через отводящий канал 31 [2].

На внутренней окружности затворной камеры, то есть кольцевого пространства 29, неподвижно закреплен еще один сифонный или запорный диск 33, установленный радиально и выступающий изнутри наружу, в затворную камеру [2].

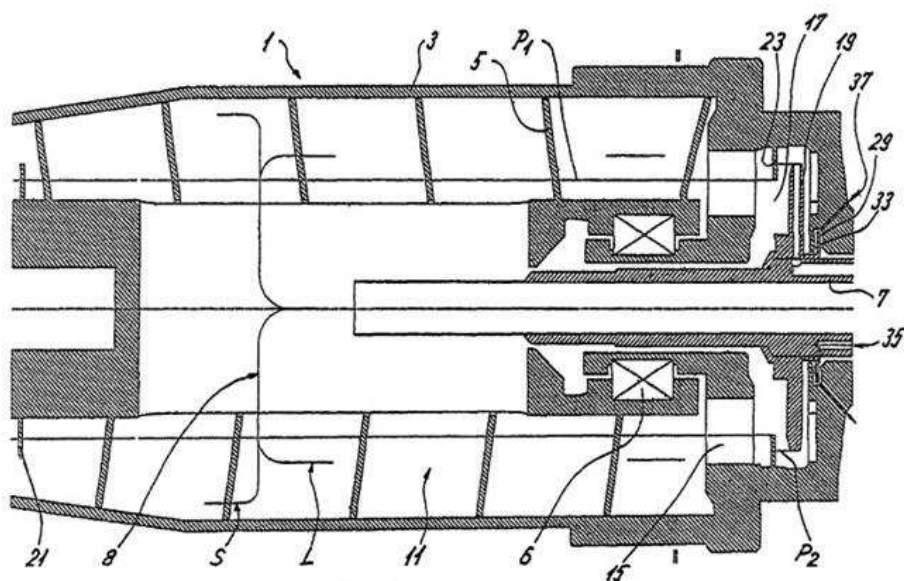
Входящая в центрифугу снаружи питающая линия 35, установленная, в данном случае, параллельно питающей трубе 7 на ее внешнем диаметре,

позволяет непосредственно изнутри подводить в затворную камеру 29, независимую от центрифугируемого материала затворную жидкость, например воду [2].

Выпускное отверстие 37, идущее, в данном случае, под острым углом к оси вращения от внешнего диаметра кольцевого пространства 29 наружу из барабана 3, позволяет непрерывно отводить затворную жидкость из кольцевого пространства 29, обеспечивая качественную очистку [2].

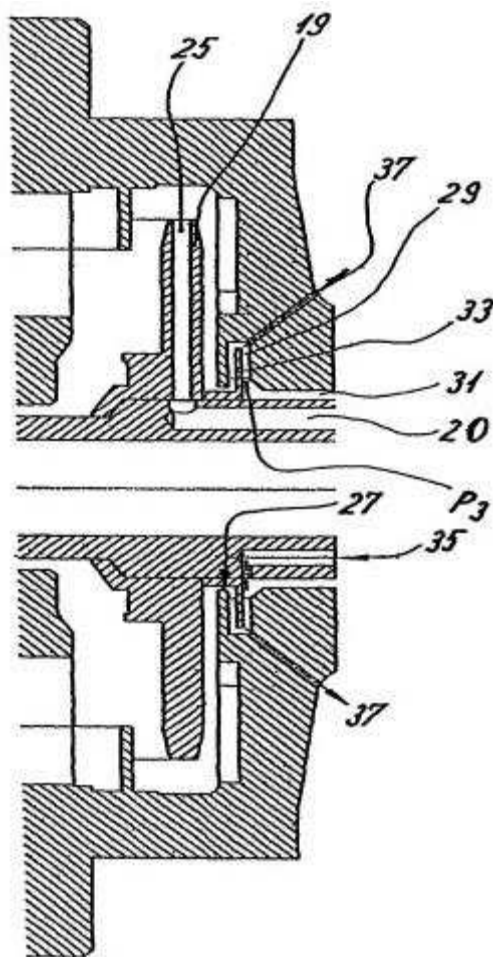
Во время работы центрифуги, то есть при вращении барабана 3 и шнека 5, в кольцевом пространстве 29 устанавливается уровень затворной жидкости P3, запирающий внутреннюю часть барабана 3 относительно внешней среды при условии превышения количества подводимой в затворную камеру затворной жидкости над количеством отводимой жидкости, которое регулируют размерами выпускного отверстия 37. Избыток воды, не вытекающий через выпускное отверстие 37, вытекает через отводящий канал 31 [2].

Однако с помощью сифонного диска 33 в затворной камере 29 несложно создать давление, достаточное для удержания газа в жидкости. Давление в затворной камере 29 можно менять путем изменения диаметра запорного и сифонного диска 33. Давление влияет на способ выгрузки твердой фазы и (или) ее консистенцию [2].



- 1 – шнековая центрифуга; 3 – барабан; 5 – шнек; 7 – питающая трубка; 6 – подшипник;  
 8 – материал; 11 – центрифугирующая камера; 15 – затвор; 17 – камера; 19 – срезающий  
 диск; 21 – сифонный диск; 23 – кольцевой заплечик; 29 – кольцевое пространство;  
 33 – запорный диск; 35 – питающая линия; 37 – выпускное отверстие;  
 S – центрифугированный материал; L – жидкая фаза; P<sub>1</sub> и P<sub>2</sub> – уровень жидкости

Рисунок 4.5 – Шнековая центрифуга в разрезе



19 – срезающий диск; 20 – отводящий канал; 25 – впускное отверстие срезающего диска; 27 – проход; 29 – затворная камера; 31 – отводящий канал; 33 – сифонный диск; 35 – питающая линия; 37 – выпускное отверстие;  $P_3$  – уровень жидкости

Рисунок 4.6 – Часть в увеличенном виде

Плюсы:

- простота конструкции;
- обеспечение удобства эксплуатации.

Минусы:

- повышается стоимость изготовления centrifуги с данной модификацией;
- не высокая пропускная способность жидкой фазы centrifуги за счет небольших каналов.

3) Центрифуга для разделения суспензий содержит цилиндриконический полый ротор 1 и установленный в нем шнек 2 для транспортирования осадка. Шнек 2 состоит из корпуса-барабана 3 и размещенной на его наружной поверхности ленточной спирали 4, по всей длине которой с обеих сторон прикреплены защитные ленты, составленные из секторов 5 и закрепленные, например, с помощью заклепок 6. Ленточная спираль 4 размещена на наружной поверхности барабана 3, установленного соосно с ротором 1 centrifуги.

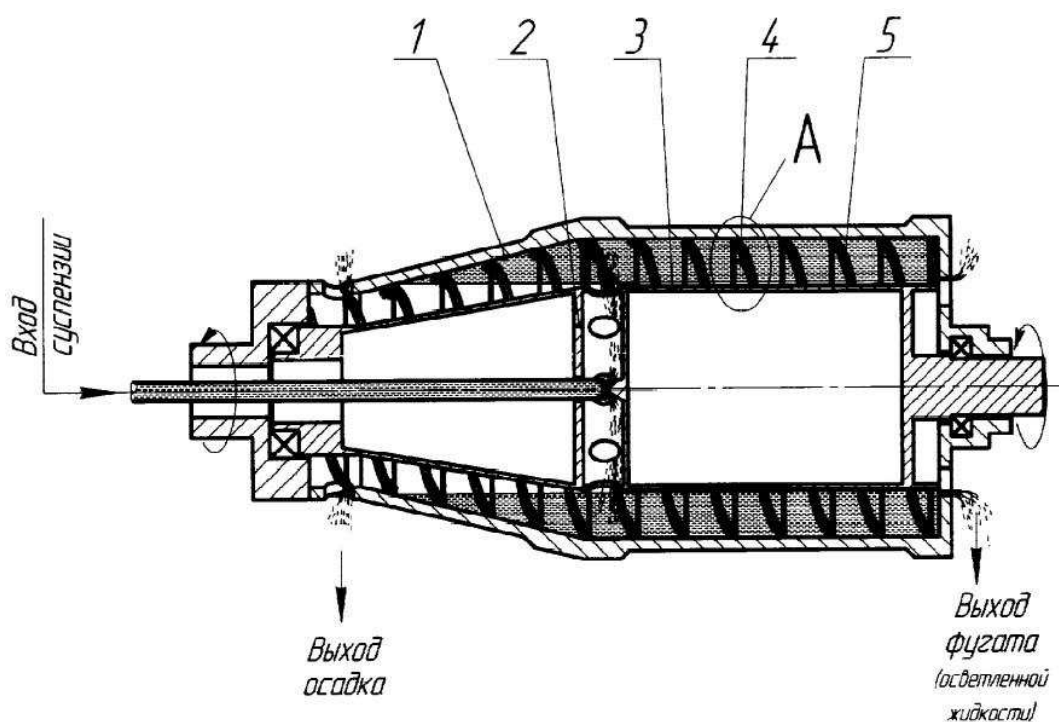
Защитные сектора 5 прикреплены к спирали 4 шнека 2 так, что наружные их части консольно выступают по направлению к ротору 1 за кромку спирали 4. В результате кромка спирали 4 и примыкающие к ней с обеих сторон защитные сектора 5 образуют в поперечном сечении желоб, открытый в сторону ротора 1. Желоб имеет длину, равную длине ленточной спирали 4 по кромке [3].

Торцы защитных секторов 5 установлены к внутренней поверхности ротора 1 с зазором, размер которого соизмерим с размерами абразивных частиц в исходной суспензии. Поскольку сектора 5 выполнены из металлического листа небольшой толщины и прикреплены к спирали 4 точно, например с помощью заклепок 6, этим обеспечивается возможность их упругой деформации под воздействием небольших усилий со стороны осадка в поперечном сечении по отношению к боковым поверхностям ленточной спирали 4 [3].

После запуска, то есть после достижения подвижными узлами машины номинального числа оборотов, в нее для разделения на твердую и жидкую составляющие подают с заданным расходом исходную суспензию с твердыми частицами, обладающими абразивными свойствами. Под действием центробежных сил твердые частицы, как более плотные по сравнению с жидкостью, оседают на внутренней поверхности вращающегося ротора 1, в котором вращается коаксиально установленный в нем шнек 2. Ленточной спиралью 4 шнека 2 осевшие в роторе частицы твердой фазы поступательно перемещаются к выгрузному отверстию. При этом через зазоры между поверхностью ротора 1 и торцами защитных секторов 5 отдельные частицы твердой фазы попадают внутрь желоба, постепенно заполняя его, после чего торцом ленточной спирали становится поверхность, образованная внутри желоба твердыми частицами. Иными словами, с момента заполнения желоба твердой фазой при выгрузке происходит трение осадка по осадку, в результате чего защитные сектора 5 ленточной спирали 4 по торцам не изнашиваются [3].

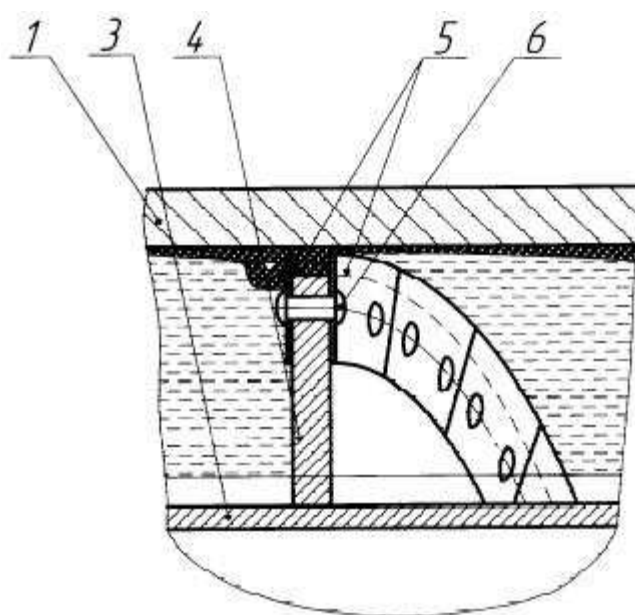
При большом содержании твердой фазы в исходной суспензии на поверхности ротора 1 образуется слой осадка значительной толщины. При этом с осадком контактирует также атакующая поверхность защитной ленты, составленной из секторов 5. Но вследствие их небольшой толщины, консольности и способности деформироваться под действием перемещаемого осадка происходит очень незначительный износ атакующей поверхности секторов 5 из-за их податливости (аналогично тому, как не поддаются истиранию движущиеся в абразивной среде гуммированные детали) [3].





1 – ротор; 2 – шнек; 3 – корпус барабана; 4 – ленточная спираль шнека;  
5 – защитные пластины

Рисунок 4.7 – Общий вид центрифуги



1 – ротор; 3 – корпус барабана; 4 – ленточная спираль шнека;  
5 – защитные пластины; 6 - заклепки

Рисунок 4.8 – Крепление упрочняющих лент из секторов к спирали шнека

Плюсы:

- увеличение срока службы шнека;

- уменьшение затрат на ремонт шнека;
- возможность реверсивной работы центрифуги.

Минусы:

- повышение стоимости центрифуги;
- повышение сложности конструкции;
- повышение трудоёмкости ремонта секторов из-за их крепления.

4) Центрифуга с непрерывной выгрузкой осадка включает корпус 1, установленный в нем ротор 2. Ротор состоит из цилиндрической части 3 и конической части 4. Внутри ротора 2 коаксиально ему расположен шнек 5, выполненный в виде полого барабана 6 с укрепленными на нем витками спирали 7. Между барабаном шнека 6 и ротором 2 имеется зазор 8, в пределах которого размещены витки спирали 7 шнека 5 [4].

В конической части 4 ротора 2 выполнены окна для выгрузки осадка 9 [4].

В цилиндрической части 3 ротора 2 расположены отверстия для отвода фугата 10. Центрифуга оборудована трубой питания 11, расположенной внутри барабана 6 шнека 5 [4].

Перед окнами для выгрузки осадка 9 размещены перегородки 12, выступающие над образующей 13 конической части 4 ротора 2 на высоту  $h$ , которая равна  $0-0,95 H$ . Толщина перегородок  $b$  составляет  $0-0,5 S$  [4].

На расстоянии  $L$  от перегородок 12, равном  $0-2,5 S$ , спираль шнека имеет высоту  $0-0,9 H^1$  [4].

Центрифуга работает следующим образом.

Суспензия, подвергающаяся разделению, подается по трубе питания 11, движется вдоль барабана 6 шнека 5, потом попадает в ротор 2 центрифуги.

Ротор 2 и шнек 5 вращаются в одну сторону, но с разными скоростями.

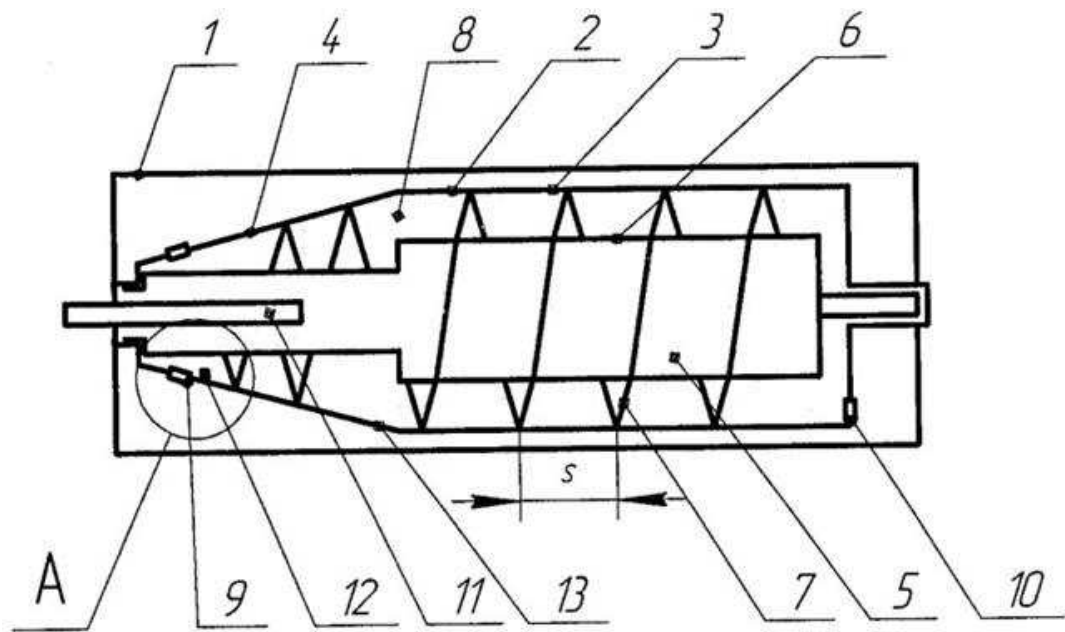
В роторе 2 под действием центробежных сил, создаваемых вращением ротора, происходит разделение суспензии на осадок и фугат [4].

Осадок отбрасывается к стенкам ротора 2. При этом витки спирали 7 шнека 5 перемещают осадок из цилиндрической части 3 ротора 2 в коническую часть 4 ротора 2 и способствуют выгрузке его через окна для выгрузки осадка 9 [4].

В зоне между перегородкой 12 и крайним витком спирали 7 шнека 5 полной высоты происходит накопление осадка. Перегородка 12 обеспечивает условия для того, чтобы зона накопления осадка становилась более высокой в радиальном направлении и более короткой в осевом направлении, что улучшает условия выведения влаги из осадка в поле центробежных сил [4].

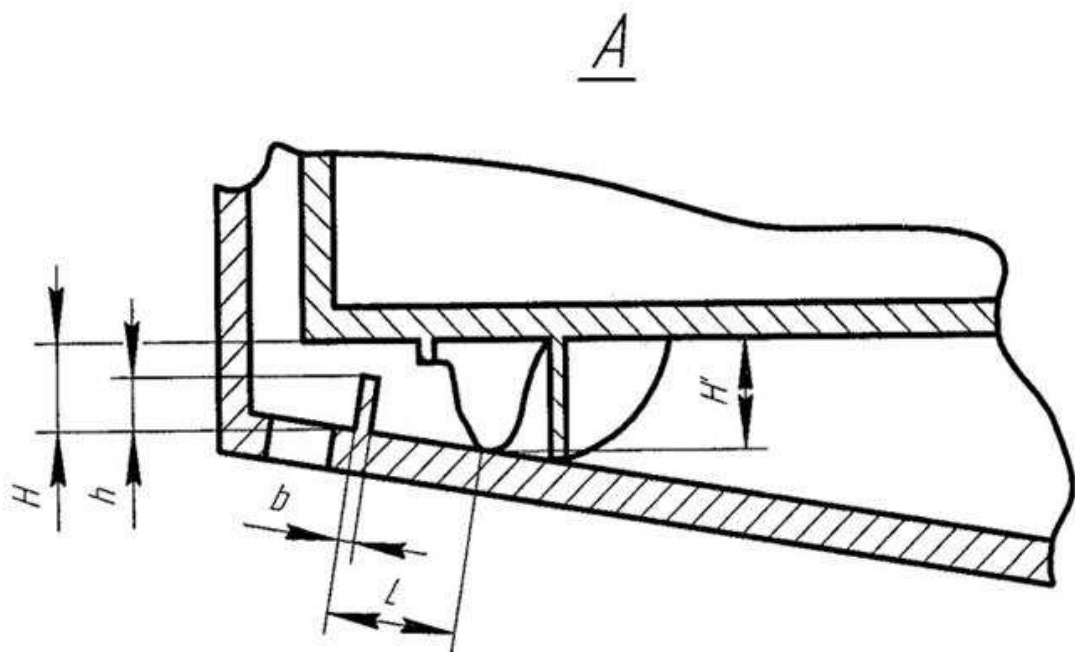
Во время вращения шнека 5 часть осадка, находящаяся в данной зоне, не имеет непосредственного столкновения со шнеком [4].

Жидкая фаза, удаляемая из этого осадка под воздействием центробежного поля, отводится из центрифуги вдоль образующей 13 ротора 2 [4].



1 – корпус; 2 – ротор; 3 – цилиндрическая часть; 4 – коническая часть; 5 – шнек; 6 – полый барабан; 7 – витки спирали; 8 – зазор; 9 – окна для выгрузки осадка; 10 – отверстия для отвода фугата; 11 – питающая труба; 12 – перегородки; 13 – образующая; S – ход спирали шнека

Рисунок 4.9 – Общий вид центрифуги



H - величина зазора между барабаном шнека и ротором в месте размещения перегородок;  $H^1$  - величина зазора между барабаном шнека и ротором в месте на расстоянии 0-2,5 хода спирали шнека от перегородок; h - высота, на которую перегородки выступают над образующей конической части ротора; b - толщина перегородок; L - расстояние от перегородок, на котором спираль шнека имеет высоту  $0,9 H^1$

Рисунок 4.10 – Разрез А-А

Плюсы:

- снижение влажности осадка.

Минусы:

- повышение стоимости центрифуги;
- повышение сложности конструкции за счет точного изготовления перегородок;
- возможен не большой ресурс перегородок.

5) Центробежный сепаратор 1 предшествующего уровня техники, показанный на рис. 4.11, содержит чашу 2 и шнековый конвейер 3, установленные на валу 4 таким образом, что в процессе эксплуатации они могут приводиться во вращение вокруг оси 5 вращения, причем ось 5 вращения проходит вдоль чаши 2. Кроме того, центробежный сепаратор 1 имеет радиальное направление 5а, перпендикулярное продольному направлению [5].

Чаша 2 содержит базовую пластину 6, обеспеченную с одного конца чаши 2 в продольном направлении, причем данная базовая пластина 6 имеет внутреннюю сторону 7 и наружную сторону 8. Базовая пластина 6 снабжена некоторым числом выходных отверстий 9 для жидкой фазы. Кроме того, чаша 2 снабжена с противоположного относительно базовой пластины 6 конца выпускными отверстиями 10 для твердой фазы [5].

Кроме того, шнековый конвейер 3 содержит входные отверстия 11 для подачи, например, гидросмеси в центробежный сепаратор 1, причем гидросмесь содержит легкую или жидкую фазу 12 и тяжелую или твердую фазу 13. В процессе вращения центробежного сепаратора 1, как описано выше, происходит разделение жидкой 12 и твердой 13 фаз. Жидкая фаза 12 выходит через выходные отверстия 9 в базовой плите 6, тогда как шнековый конвейер 3 транспортирует твердую фазу 13 к выпускным отверстиям 10 для твердой фазы, через которую твердая фаза 13 в итоге выходит наружу [5].

Как показано на рис. 4.12, каждое выходное отверстие 9 для жидкой фазы может согласно предыдущему уровню техники быть частично закрыто пластиной 14 перегородки. Пластина 14 перегородки определяет уровень 15 жидкости (рис. 4.13) в чаше, который по существу не может превышать сливную кромку 17 пластины перегородки, потому что участок 16 отверстия над пластиной 14 перегородки с практической точки зрения не ограничен. Пластина 14 перегородки надежно прикреплена к базовой пластине 6 средством крепления (не показано) в виде, например, болтов, выступающих сквозь отверстия 18 в периферийную часть опорного устройства 21. В неподвижном состоянии периферийная часть 19 закрывает по меньшей мере часть обода 20 выходного отверстия 9 для жидкой фазы, и поддерживающее устройство 21 частично закрывает пластину 14 перегородки до уровня, обозначенного позицией 22 на рис. 4.12 [5].

На рис. 4.13 показано выходное отверстие 9 для жидкой фазы в разрезе по линии III-III на рис. 4.12, где показан уровень 15 жидкости, по существу совпадающий со сливной кромкой 17 пластины перегородки.

Проблема предшествующего уровня техники относится к жидкости, которая перетекает через переливную кромку 17 пластины перегородки и имеет тенденцию прилипнуть к наружной поверхности базовой пластины 6, будучи захваченной опорным устройством 21, что вызывает дополнительное энергопотребление [5].

Для преодоления данного недостатка центробежный сепаратор 1 согласно изобретению может быть снабжен выпускными элементами для жидкой фазы, расположенными поверх выходного отверстия 9 чаши 2 центробежного сепаратора 1, вместо пластины 14 перегородки и ее поддерживающего устройства 21 [5].

Один из вариантов осуществления выпускного элемента 30 для жидкой фазы показан под различными углами на рис. 4.14-4.16 и будет описан далее в качестве иллюстративного, но никоим образом не носящего ограничительного характера, варианта осуществления изобретения [5].

Как показано на рис. 4.14 и 4.15, выпускной элемент 30 для жидкой фазы содержит фланец 31, в котором обеспечено входное отверстие 32 (лучше всего видно на рис. 4.16), и короб 33, выступающий в области входного отверстия 32 с одной стороны фланца 31. Короб 33 содержит боковую сторону 34, при этом нормаль 35 к боковой стороне 34 короба расположена под острым углом 3 к фланцу 31. В боковой стороне 34 короба обеспечено выпускное отверстие 36, ограниченное перегородкой, которая образована пластиной 45 перегородки с переливной кромкой 39 [5].

В установленном положении переливная кромка 39 находится по существу на постоянном расстоянии от оси 5 вращения 5 центробежного сепаратора 1. Это показано с помощью радиуса 46 на рис. 4.17, причем упомянутый радиус перпендикулярен переливной кромке 39 и содержит стрелку 47, указывающую на ось вращения центробежного сепаратора. Для данной конструкции уровень жидкости в чаше 2 центробежного сепаратора 1 определяется уровнем переливной кромки 39 пластины 45 перегородки. Следовательно, можно поддерживать по существу постоянный уровень жидкости в чаше 2 при любых скоростях подачи [5].

Согласно предпочтительному варианту осуществления изобретения вышеупомянутый острый угол  $\beta$  находится в диапазоне от 0 до 60°, предпочтительно от 5 до 35°, а еще более предпочтительно - от 15 до 20°, например, примерно 25°, как показано на чертеже [5].

В представленном варианте осуществления выпускной элемент 30 для жидкой фазы содержит отверстие 37, обеспечивающее дополнительный выходной канал для жидкости над переливной кромкой 39. Данный дополнительный выходной канал для жидкости может быть обеспечен, как таковым, известным способом для работы центробежного сепаратора с низким уровнем жидкости в чаше 2 в период пуска (см. US-A-4 575 370) [5].

Пластина 45 перегородки согласно настоящему варианту осуществления является сменной, и из соображений легкости замены пластины 45 перегородки в области выпускного отверстия 36 предусмотрены канавки 38, приспособленные для размещения пластины 45 перегородки, закрепленной

винтом 50. В данной конструкции уровень расположения переливной кромки 39 можно легко менять в соответствии с желаемым уровнем жидкости в чаше 2 [5].

На чертежах боковая сторона 34 короба показана с верхним поперечным участком 44. Однако назначение данного верхнего поперечного участка 44 состоит лишь в укреплении короба 33, и, следовательно, его может и не быть, если прочность короба 33 и остальной части боковой стороны 34 короба достаточна, чтобы самостоятельно выдержать давление выпускаемой жидкости и не деформироваться [5].

Короб 33 содержит изогнутую стенку 49, продолжающуюся от фланца 31 к дальней части 40 боковой стороны 34 короба, при этом сторона 43 выпускного отверстия 36 выполнена заподлицо с изогнутой стенкой 49. Данная конструкция обеспечивает, чтобы внутренняя поверхность 41 корпуса практически не вызывала турбулентности в выпускаемой жидкости. Изогнутая стенка 49 и боковая сторона 34 корпуса стыкуются по существу под прямыми углами [5].

Кроме того, во фланце 31 предпочтительно обеспечены сквозные отверстия 42. Сквозные отверстия 42 могут быть использованы для крепления выпускного элемента 30 для жидкой фазы к базовой пластине 6 центробежного сепаратора 1 с помощью средства крепления (не показанного), такого как болты и т.п. [5].

Верх короба в представленном варианте осуществления открыт. Короб может быть закрыт верхней стенкой, но при вытекании жидкой фазы, покидающей чашу 2 через выходные отверстия 9, сквозь нижнюю часть выпускного отверстия 36 прямо над переливной кромкой 39, без заполнения нижней части выпускного отверстия 36, такая верхняя стенка оказывается лишней, по крайней мере, что касается потока жидкости [5].

Согласно альтернативному варианту осуществления настоящего изобретения короб представляет собой единое целое с базовой пластиной центробежного сепаратора, а не прикреплен к ней посредством фланца 31. По сравнению с вышеописанным вариантом осуществления выпускные отверстия базовой пластины в данном альтернативном варианте осуществления идентичны с выпускными отверстиями в корпусе [5].

Центробежный сепаратор, оснащенный выпускными элементами 30 для жидкой фазы, работает следующим образом [5].

Чашу 2 и винтовой конвейер 3 приводят во вращение вокруг общей оси 5 вращения в том же направлении, но с различными скоростями вращения. Субстанцию, содержащую жидкую фазу 12 и твердую фазу 13, подают в чашу через входные отверстия 11. Твердая фаза 13 отделяется от жидкой фазы 12 и благодаря разнице скоростей вращения перемещается к выпускным отверстиям 10 для твердой фазы. Одновременно с этим жидкая фаза течет к выпускным отверстиям 9 в базовой пластине 6, а там выходит наружу через выпускные элементы 30 для жидкой фазы. Благодаря вращению чаши 2 выпускные элементы 30 для жидкой фазы перемещаются в направлении стрелки 48 (рис. 4.17) [5].

Следует отметить, что для центрифуги с противоположным направлением вращения выпускной элемент для жидкой фазы должен быть зеркально отражен относительно радиуса.

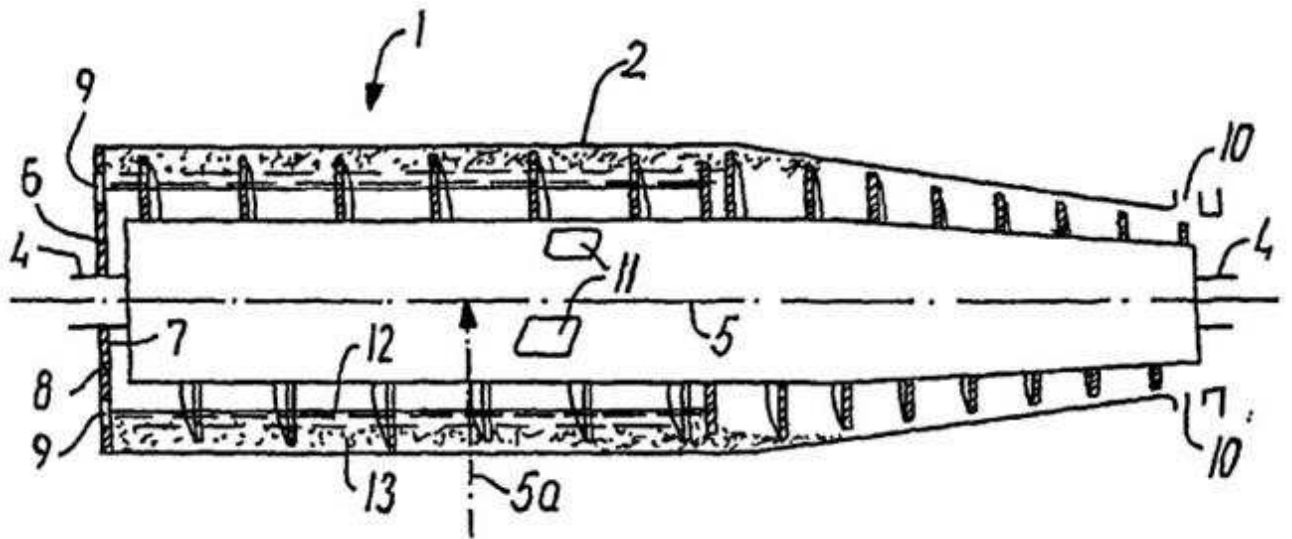
Выпускные отверстия 36 выпускных элементов 30 для жидкой фазы размещены таким образом, что они обращены назад относительно направления вращения 48, при этом жидкая фаза выходит по существу в периферийном направлении, противоположном направлению вращения [5].

Жидкая фаза заполняет нижнюю часть короба 33 и течет по переливной кромке 39. Изогнутая форма короба 33 и выполненный заподлицо переход между корпусом 33 и боковой стороной 34 короба обеспечивают плавный поток жидкости через короб 33, при этом жидкость покидает корпус в направлении нормали 35 [5].

Затем жидкая фаза выходит через выпускное отверстие 36, при этом профиль потока слегка приподнимается над переливной кромкой 39. В период пуска, когда уровень 15 жидкости находится ниже переливной кромки 39, жидкая фаза может быть выброшена через отверстие 37 в пластине перегородки, как описано выше. При полной нагрузке примерно от 30 до 70%, например, около 50% жидкой фазы может выходить сквозь отверстие (отверстия) 37. В зависимости от подачи в центрифугу может оказаться предпочтительным снабдить отверстиями лишь некоторые из пластин перегородок. Таким образом, можно обеспечить меньшее количество более крупных отверстий, менее склонных забиваться, и данные более крупные отверстия вместе будут обладать такой же пропускной способностью, как и более мелкие отверстия, обеспеченные в каждой пластине перегородки [5].

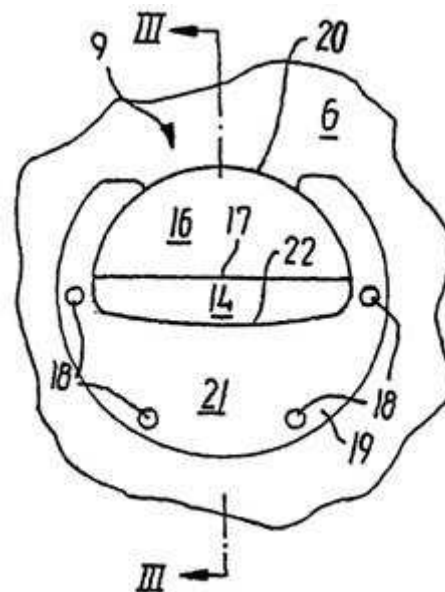
Ориентация пластины 45 перегородки и, следовательно, переливной кромки 39 под острым углом  $\beta$  (рис. 4.16) вместе с ее расположением в корпусе 33, где она приподнята относительно базовой пластины 6, обеспечивает, что при протекании жидкости поверх переливной кромки жидкость не прилипает к наружной стороне базовой пластины 6 чаши 2, не взаимодействует с соседними выпускными элементами 30 для жидкой фазы, размещенными в соседних выпускных отверстиях 9 базовой пластины 6, но лишь выходит наружу, причем на базовой пластине 6 или выпускных элементах 30 для жидкой фазы не остается, или почти не остается, остатков жидкости [5].

Переливная кромка 39 гарантирует по существу постоянный уровень жидкости в чаше 2 даже при разных скоростях подачи.



1 – центробежный сепаратор; 2 – чаша; 4 – вал; 5 – ось вращения; 5а – радиальное направление; 6 – базовая пластина; 7 – внутренняя сторона; 8 – наружная сторона; 9 – выходные отверстия для жидкой фазы; 10 – выпускные отверстия для твердой фазы; 11 – входные отверстия; 12 – жидкая фаза; 13 – твердая фаза

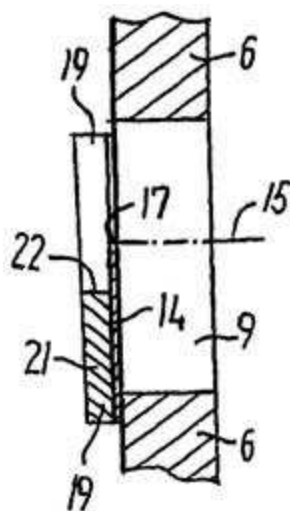
Рисунок 4.11 – Центробежный сепаратор



6 – базовая пластина; 9 – выходные отверстия для жидкой фазы; 14 – пластина; 16 – отверстие; 17 – сливная кромка пластины; 18 – отверстия; 19 – периферийная часть; 20 – часть обода; 21 – поддерживающее устройство; 22 – уровень; III-III – линия разреза

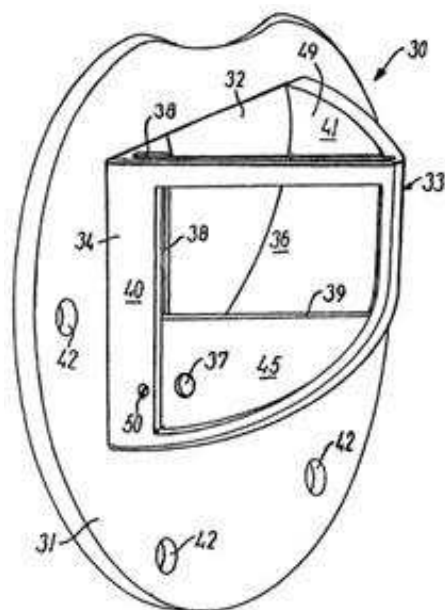
Рисунок 4.12 – Вид спереди выходного отверстия





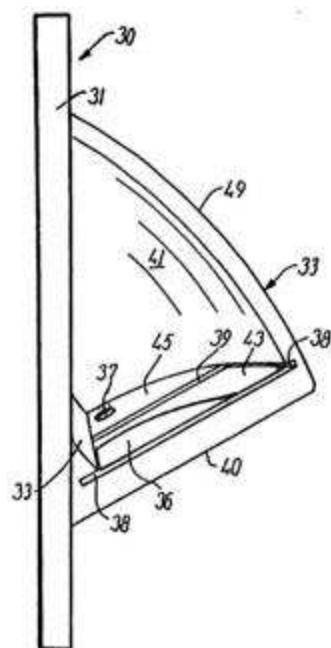
6 – базовая пластина; 9 – выходные отверстия для жидкой фазы; 14 – пластина; 15 – уровень жидкости; 17 – сливная кромка пластины; 19 – периферийная часть; 21 – поддерживающее устройство; 22 – уровень

Рисунок 4.13 – Вид в разрезе по линии Ш-Ш



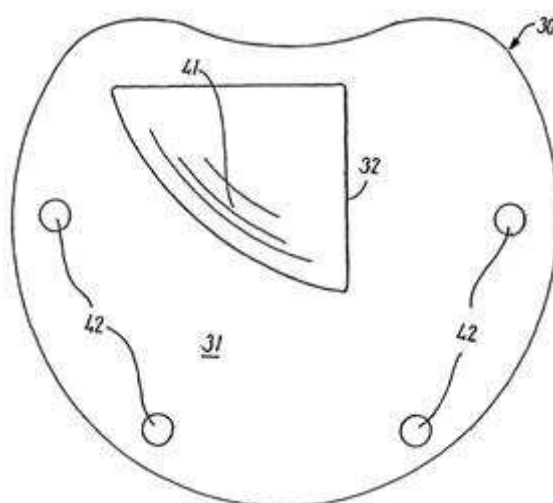
30 – выпускной элемент; 31 – фланец; 32 – входное отверстие; 33 – короб; 34 – боковая сторона; 36 – выпускное отверстие; 38 – канавки; 39 – переливная кромка; 40 – часть боковой стороны; 41 – внутренняя поверхность корпуса; 42 – сквозные отверстия; 45 – пластина; 49 – изогнутая стенка; 50 – винт

Рисунок 4.14 – Общий вид выпускного элемента для жидкой фазы



30 – выпускной элемент; 31 – фланец; 33 – короб; 36 – выпускное отверстие; 37 – отверстие; 38 – канавки; 39 – переливная кромка; 40 – часть боковой стороны; 41 – внутренняя поверхность корпуса; 43 – сторона; 45 – пластина; 49 – изогнутая стенка;

Рисунок 4.15 – Общий вид сверху



30 – выпускной элемент; 31 – фланец; 32 – входное отверстие; 41 – внутренняя поверхность корпуса; 42 – сквозные отверстия

Рисунок 4.16 – Вид сзади выпускного элемента

Плюсы:

- уменьшение потерь энергии за счет отсутствия прилипания жидкой фазы к кромке выходного отверстия;
- усиление мощности в диапазоне от 10 до 15%;

- улучшение качества дренирования;

Минусы:

- усложнение конструкции;
- увеличение стоимости.

### **Заключение**

Таким образом, в ходе патентного исследования установлено, что общими тенденциями развития оборудования являются:

- Улучшение эксплуатационных характеристик центрифуги;
- Повышение надёжности центрифуги;
- Технологичность модернизации центрифуги;
- Сокращение сроков межремонтных периодов центрифуги;
- Сокращение экономических затрат при эксплуатации центрифуг.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 2279924 Российская Федерация, МПК В04В 1/20. Декантирующая центрифуга / Диркс Клаус, Мадсен Бент; заявитель и патенто-обладатель Альфа Лаваль Копенгаген – № 2279924 ; заявл. 09.04.2003 ; опубл. 30.10.2003.
2. Пат. 2283188 Российская Федерация, МПК В04В 1/20. Шнековая центрифуга со сплошным ротором, содержащая срезающий диск, и способ ее эксплуатации / Крамер Франц, Осткамп Вильгельм, Херберг Вольф-Дитрих; заявитель и патенто-обладатель Вестфалия Сепаратор АГ – № 2283188 ; заявл. 27.05.2003 ; опубл. 10.07.2005.
3. Пат. 2346752 Российская Федерация, МПК В04В 1/20. Центрифуга для разделения суспензий / В. С. Постников, П. Ф. Нешков, С. И. Киряков; заявитель и патенто-обладатель ОАО «СвердНИИхиммаш» – № 2346752 ; заявл. 04.05.2007 ; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5.
4. Пат. 2417844 Российская Федерация, МПК В04В 1/20. Центрифуга с непрерывной выгрузкой осадка / А. Ф. Мацак, А. А. Шкоп, Г. П. Трошин, А. Г. Трошин, Н. Г. Пономарева; заявитель и патенто-обладатель А. Ф. Мацак, А. А. Шкоп, Г. П. Трошин, А. Г. Трошин, Н. Г. Пономарева – № 2417844 ; заявл. 22.10.2009 ; опубл. 10.05.2011.
5. Пат. 2428259 Российская Федерация, МПК В04В 1/20, В04В 11/00. Центробежный сепаратор и выпускной элемент для жидкой фазы / Мадсен Бент, Диркс Клаус; заявитель и патенто-обладатель Альфа Лаваль Корпорейт АБ – № 2428259 ; заявл. 08.05.2008 ; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

- 1) Центрифуга для очистки бурового раствора – Чертёж общего вида (1 лист, формат А1)
- 2) Сопло для выхода жидкой фазы – Сборочный чертеж (1 лист, формат А3)
- 3) Корпус – Чертеж детали (1 лист, формат А3)
- 4) Пластина – Чертеж детали (1 лист, формат А4)

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский

«06» июня 2017 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01 «Нефтегазовое дело»

21.03.01.07 «Эксплуатация и обслуживание технологических объектов  
нефтегазового производства»

**Модернизация центрифуги для очистки бурового раствора**

Руководитель



к.т.н., доцент

Е.А. Соловьёв

Выпускник



А.Ю. Познахарев

Красноярск 2017