

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

Институт нефти и газа

институт

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Э.А. Петровский

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

21.03.01.07 - Эксплуатация и обслуживание технологических объектов

нефтегазового комплекса

код – наименование направления

«Модификация центробежного секционного насоса ЦНС 500»

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

К. Т. Н., доцент

должность, ученая степень

В.С. Тынченко

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.А. Бейшис

инициалы, фамилия

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 Бейшис Алексею Антоновичу

Группа ЗНБ 12-02

Направление подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Профиль 21.03.01.07 - Эксплуатация и обслуживание технологических объектов нефтегазового комплекса

Тема выпускной квалификационной работы «Модернизация центробежного секционного насоса ЦНС 500»

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

Руководитель ВКР В.С. Тынченко, к.т.н., доцент, доцент кафедры ТМО НГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Объектом ВКР является многоступенчатый секционный центробежный насос типа ЦНС. Предметом ВКР является модификация данного центробежного насоса. В задачи ВКР входят: освещение основных сведений ЦНС 500, подбор патентных модификаций данного оборудования, а также расчет модифицируемого элемента насоса.

#### **Перечень рассматриваемых задач:**

1. Анализ объекта исследования.
2. Провести аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников о модификации различных элементов центробежного насоса.
3. Осуществить выбор насосного оборудования и его элемента для модификации.
4. Рассчитать рабочую модель модифицируемого элемента многоступенчатого секционного центробежного насоса.
5. Сделать выводы по работе.

Перечень графического и иллюстративного материала: Сборочный чертеж насоса формата А1 (1 рисунок), чертеж модифицируемого элемента формат А3 (1 рисунок), презентация (13 слайдов), иллюстраций (17 рисунков, 4 графика)

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ В.С. Тынченко

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ А.А. Бейшис

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Модификация центробежного секционного насоса ЦНС 500» содержит 75 страниц текстового документа, 18 использованных источника, 2 листов графического материала.

МОДИФИКАЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА, СТУПЕНЬ НАСОСА, РАБОЧЕЕ КОЛЕСО, НАПРАВЛЯЮЩИЙ АППАРАТ, ДИФФУЗОРНЫЕ КАНАЛЫ.

Объект – Многоступенчатый секционный центробежный насос ЦНС 500-640.

Цели проектирования:

Повышения коэффициента полезного действия многоступенчатого секционного центробежного насоса типа ЦНС.

В данной выпускной квалификационной работе была разработана модифицированная модель направляющего аппарата многоступенчатого секционного центробежного насоса.

В соответствии с целью работы решены следующие задачи:

- Проведен анализ объекта исследования.
- Проведен аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников о модификации различных элементов центробежного насоса.
- Осуществлен выбор насосного оборудования и его элемента для модификации.
- Рассчитана рабочую модель модифицируемого элемента многоступенчатого секционного центробежного насоса.
- Сделаны выводы по работе.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Аналитический обзор.....	7
1.1 Центробежные насосы .....	7
1.1.1 Преимущества центробежных насосов.....	12
1.1.2 Избежание поломки .....	13
1.1.3 Применение центробежных насосов в промышленности .....	15
1.1.4 Эксплуатация и увеличение срока службы центробежных насосов .....	16
1.2 Центробежные секционные насосы типа «ЦНС».....	19
1.2.1 Принцип работы насоса типа ЦНС .....	19
1.2.2 Пуск центробежных насосов и их обслуживание .....	21
1.2.3 Возможные неполадки в работе насоса и способы их устранения .....	22
1.3 Патентные модификации многоступенчатых секционных центробежных насосов .....	25
2 Расчетная часть .....	47
2.1 Состав центробежного секционного насоса .....	47
2.2 Общее устройство и технические характеристики насоса ЦНС 500.....	52
2.3 Расчет рабочего колеса.....	54
2.4 Расчет направляющего аппарата.....	63
Заключение .....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	72

## **ВВЕДЕНИЕ**

Насос – это гидравлическая машина, которая преобразует механическую энергию приводного двигателя в энергию потока жидкости. Это служит для перемещения и создания напора жидкостей всех видов, механической смеси жидкости с твёрдыми и коллоидными веществами или сниженных газов. Следует заметить, что машины для перекачки и создания напора газов выделены в отдельные группы и получили название вентиляторов и компрессоров. Разность давлений жидкости в насосе и трубопроводе обуславливает её перемещение. По принципу действия насосы подразделены на динамические, в которых передача энергии жидкости происходит в рабочей камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса, и объёмные, в которых перемещение жидкой среды осуществляется в результате периодического изменения объёма рабочей камеры, но переменного сообщаемой с входом и выходом насоса.

В современной промышленности применяются осевые, центробежные и вихревые динамические насосы, первые два из которых относятся к лопастным, а третий к машинам трения. Внимание в работе будет сосредоточено на многоступенчатых секционных центробежных насоса типа ЦНС, так как при всех их преимуществах КПД этих насосов относительно невысок. И решение этой проблемы актуально и в наше время.

Цель данной работы: повышения коэффициента полезного действия многоступенчатого секционного центробежного насоса типа ЦНС.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ объекта исследования.
2. Провести аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников о модернизации различных элементов центробежного насоса.

3. Осуществить выбор насосного оборудования и его элемента для модификации.

4. Рассчитать рабочую модель модифицируемого элемента многоступенчатого секционного центробежного насоса.

5. Сделать выводы по работе.

# 1 Аналитический обзор

## 1.1 Центробежные насосы

Центробежный насос – это насос, в котором движение жидкости и необходимый напор создаются за счёт центробежной силы, возникающей при воздействии лопастей рабочего колеса на жидкость. Т.е. центробежный насос относится к механизмам, в которых кинетическая энергия сообщается жидкости, впоследствии преобразуемая в энергию давления.

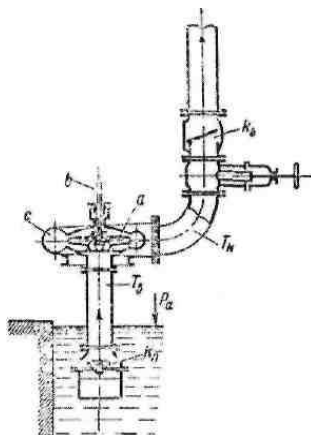


Рисунок 1 – Схема центробежного насоса

В зависимости от способа подвода жидкости к рабочим колёсам различают однопоточные и многопоточные схемы центробежных насосов. Самая простая схема однопоточного насоса приведена на рисунке 1. Насос этот одноколесный с односторонним подводом воды к колесу.

Для создания высоких давлений появляется необходимость в последовательном включении нескольких рабочих колес (рисунок 2а), насаженных на общий вал. В этом случае один и тот же поток жидкости проходит через ряд ступеней повышения давления, причем общий создаваемый напор будет равен сумме напоров, создаваемых каждым колесом.



Две распространенные схемы таких многоступенчатых насосов с различным расположением колес приводятся на рисунке 2а и 2б. В первой рабочие колеса повернуты в одну сторону, во второй их направление попарно обратное. Переход жидкости происходит по особым переточным каналам от каждого колеса к последующему.

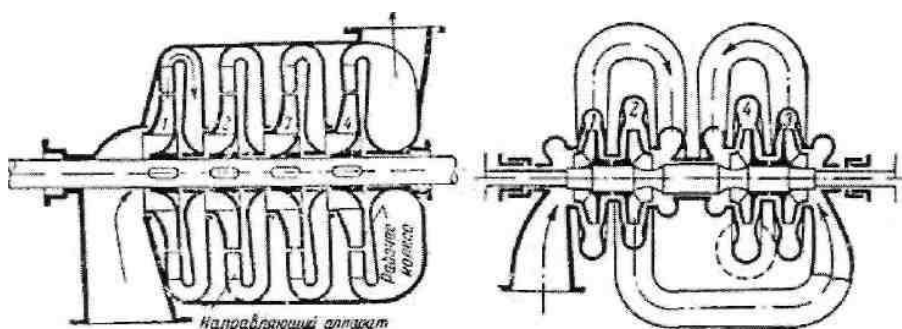


Рисунок 2 – Схема многоступенчатого насоса турбинного (а) и спирального (б)

На рисунке 3 насос имеет одно колесо, к которому жидкость подводится с двух сторон, что по существу является параллельным соединением двух односторонних колес, причем каждое из них дает половину общего расхода, напор же остается равным напору, развиваемому одним колесом.

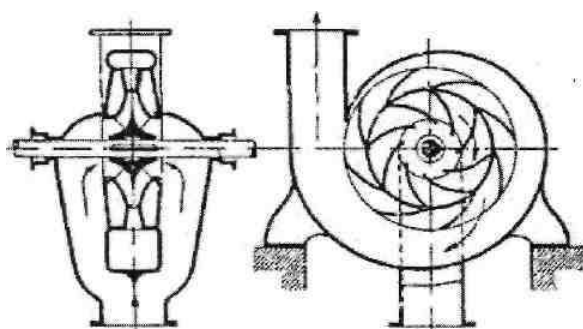


Рисунок 3 – Схема насоса с двухсторонним подводом жидкости

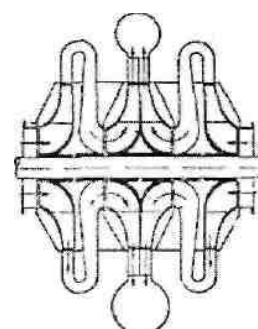


Рисунок 4 – Схема смешенного соединения колес

Более сложная схема с двумя параллельно включенными группами последовательно работающих колес (смешанное соединение) приведена на рисунке 4.

Центробежные насосы по способу отвода жидкости, поступающей к рабочему колесу, бывают спирального и турбинного типа. В центробежных насосах спирального типа (рисунок 2б) жидкость из колеса непосредственно поступает в спиральный канал кожуха и затем либо отводится в напорный трубопровод, либо по переточным каналам (рисунок 3), поступает к следующему колесу. В турбинных насосах (рисунок 2а, рисунок 3) жидкость, сначала проходит через специальное направляющее жидкость устройство, прежде чем попасть в спираль или канал, ведущей к следующему колесу. По схеме рисунка 2а выполняются многоступенчатые насосы европейского типа, а по рисунку 2б – американского типа.

По конструкции корпуса различают насосы однокорпусные и секционного типа. В первых корпус насоса имеет только один разъем в горизонтальной плоскости, проходящей через ось вала насоса; у насосов секционного типа корпус состоит из отдельных секций, причём секция с колесом образует одну ступень насоса. Секции корпуса соприкасаются между собой по плоскостям, перпендикулярным к оси насоса и все вместе стягиваются болтами.

Многоступенчатые центробежные насосы при относительно небольших подачах развивают большие напоры. Различают многоступенчатые насосы секционного и спирального типа. В секционном насосе жидкость поступает последовательно из одного колеса в другое через направляющие аппараты, которые имеются в каждой секции. Корпус многоступенчатого насоса секционного типа состоит из отдельных секций и двух крышек, соединенных стяжными болтами. В центробежных секционных насосах осевое давление воспринимается гидравлической пятой. Насосы, изготавливаемые в различных

климатических исполнениях и различных категорий, предназначены для работы вне помещений и в помещениях, где по условиям работы возможно образование взрывоопасных газов, паров или смеси пыли с воздухом, и относящихся к различным категориям взрывоопасности.

Исходя из этого насосные установки работают:

- На предприятиях нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности;

- В составе систем подачи топлива ТЭЦ;

- Крупных котельных и газонаполнительных станциях;

- На прочих предприятиях, которые занимаются распределением или использованием нефтепродуктов во взрывоопасных условиях.

- Перекачка нефтепродуктов различного вида

- Магистральная перекачка сырой нефти

- Перекачка товарной нефти

- Перекачка газового конденсата

- Перекачка сжиженных газов

- Перекачка горячей воды на энергетических объектах

- Инжекция воды в пласт в системах ППД

- Перекачка химических реагентов

- Перекачка кислот и солевых растворов

- Перекачка взрывопожароопасных сред

- Закачка химических реагентов в пласт для лучшей отдачи нефти

- Перекачка различных химических сред на нефтегазовых объектах

- Перекачка питательной воды в системах парового отопления

- В бустерных системах

- В системах генерации давления

Насосы многоступенчатые типа "ЦНС" относят к центробежным горизонтальным многоступенчатым секционными. Насосы такого типа способны перемещать поток перекачиваемой жидкости при помощи всего нескольких рабочих колес которые последовательно смонтированы на одном валу и в одном корпусе. В корпусе многоступенчатых секционных насосов имеются специальные отдельные секции, число которых равняется числу рабочих колес минус единица, так как одно колесо располагается в крышке корпуса. Такая конструкция корпуса насоса позволит изменять напор жидкости, при этом не изменяя подачи. На практике, напор будет равен сумме напоров, создаваемых каждым рабочим колесом. Следует обратить особое внимание и на то, что насосы типа ЦНС очень стабильны и долговечны, работают с подпором 2...6кгс/см. В зависимости от типа исполнения насосы ЦНС могут применяться в следующих отраслях: сельское и коммунальное хозяйство, пищевая, горнорудная и угольная, а так же в теплоэнергетической и нефтедобывающей промышленности, и т.п.

Согласно сферам применения выделяют несколько разновидностей секционных центробежных насосов. Давайте рассмотрим каждый тип насосного оборудования в отдельности

- ЦНС – применяются для транспортировки нейтральной согласно составу воды с содержанием примесей на уровне, что не превышает показателей в 0,5 %. Подходит для работы с жидкостями температурой от 1 С° до 45 С°. Чтобы устройства данной категории с успехом использовались в системе водоснабжения, размеры твердых частиц в перекачиваемой среде не должны превышать 0,2 мм.

- ЦНСг – насосы для перекачивания нейтральной по составу горячей воды температурой от 45 С° до 105 С°. Специальное обозначение в определении класса оборудования в виде индекса «г» указывает на работу с горячими

жидкостями. Для эффективной эксплуатации таких насосов механические примеси в составе рабочей среды должны занимать всего лишь 0,5%, а размер твердых частиц составлять не больше 0,2 мм.

- ЦНСк – предназначены для перекачки кислотных и нейтральных вод водородный показатель рН которых варьируется в пределах 3,5-8,5, с массовой долей механических примесей не превышающей 0,2% , размер твердых частиц при этом не может быть больше чем 0,2 мм, температура воды варьируется от 1 до 45°С.

- ЦНСн – насосы применяемые на технологических установках нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, предназначены для перекачивания нефти, нефтепродуктов, масел, сниженных углеводородных газов, органических растворителей, воды и других жидкостей, сходных с указанными по вязкости коррозивной активности, с температурой от – 80 до 450 С° и содержанием не выше 0,2% (масс.) твердых взвешанных частиц размером не более 0,2 мм.

- ЦНСм – категория масляных насосов, что применяются для поддержания бесперебойной работы крупных промышленных агрегатов, для смазки подшипников и уплотнителей в турбогенераторах. Рабочая температура масла может быть до 55 С° и до 60 С° в зависимости от модели насоса.

### 1.1.1 Преимущества центробежных насосов

Преимущества центробежных насосных установок можно разделить в основном, на конструктивные и функциональные.

По своей конструкции центробежные насосы компактны благодаря тому, что непосредственно агрегат соединен напрямую с паровыми турбинами и электродвигателем. Как следствие такие установки обладают небольшим весом и

габаритами при высоких показателях производительности и требуют маленькую площадь установки и сравнительно легкий фундамент. Центробежные насосные установки легко демонтировать и устанавливать. Они надежны, долговечны, экономичны в эксплуатации и несложны в использовании.

Функциональные плюсы включают, в том числе, способность насоса к быстрой активации и несложную регулировку. Они плавно и непрерывно подают воду, т.к. в напорном проводе устраняются гидравлические удары.

Центробежные насосы широко используются для перекачивания веществ содержащих взвеси, мусор, загрязнения.

Разумная стоимость насоса складывается из сравнительной дешевизны используемых материалов при его изготовлении: чугун, полимеры, сталь.

К минусам этих устройств относятся:

1. требуется предварительная заливка перекачиваемой жидкости;
2. требуется высокая герметизация всасывающей линии;
3. неразрывная связь подачи и напора;
4. зависимость КПД от подачи и напора;
5. малый КПД при малых значениях подачи и большой вязкости жидкости.

#### 1.1.2 Избежание поломки

Исходя из практики, теории и отзывам центробежные насосы имеют свойство ломаться или требуют ремонта в следующих случаях:

1. Потеря герметизации при выходе из строя уплотнения. При выявлении такого дефекта необходимо остановить устройство и выполнить замену уплотнения.

2. Возможна поломка при слабом напоре жидкости или ее недостаточностью до необходимого уровня.

3. Возможна поломка подшипника на моторчике конструкции. Это приводит к ухудшению смазки, после чего смазка загрязняется и теряет охлаждающие и смазочные функции. Нередко появляется сильный посторонний звук.

4. При дефектной сборке корпуса агрегата, в процессе его использования, появятся посторонние звуки и вибрация.



Рисунок 5- Насос типа ЦНС вследствие неправильной эксплуатации

Во избежание поломок необходимо выполнять плановые технические осмотры оборудования. Это будет способствовать своевременна, а главное, правильная диагностика. Выполнение всех правил эксплуатации и техники безопасности продлит срок службы установки на многие годы.

### 1.1.3 Применение центробежных насосов в промышленности

В связи с выше изложенными преимуществами центробежных насосов их применение в нефтяной промышленности имеет огромный потенциал к применению.

Центробежные насосы типа ЦНС предназначены для закачивания химически нейтральной воды в нефтяные пласты при добычи нефти, а также могут быть использованы для перекачивания других жидкостей, по физическим и химическим свойствам сходных с водой.

Центробежные насосы работают с водой любой температуры, жидкостями высокой вязкости, сточными водами, веществами с различными примесями (песок, шлак, грунт, торф, уголь). Вследствие чего, такие насосы часто применяются в химической и нефтяной отрасли, при работе на шахтах, для бытовых и коммунальных нужд.

Для отопительных систем, а также установок охлаждения и кондиционирования используются центробежные насосы, предназначенные для работы с водой. Такие модели обеспечивают непрерывную циркуляцию жидкости по замкнутому контуру для того, чтобы поддерживать постоянную температуру. Зачастую, данные типы насосов используют на приусадебных участках.

Погружные насосы используются при откачивании чистой и воды средней загрязненности. Такие насосы используются для того, чтобы получить чистую воду из колодца или скважины, либо для осушения затопленных помещений. Погружной насос может работать непрерывно на протяжении длительного времени. Самовсасывающий насос активно используется в качестве составного элемента насосной станции. Такой насос способен выполнять любую работу, связанную с перекачкой жидкостей с самым различным уровнем загрязнения.



Центробежные насосы достаточно широко используются в составе петрохимических установок, при химической переработке, а также в процессе производства различных продуктов питания.

#### 1.1.4 Эксплуатация и увеличение срока службы центробежных насосов

Для обеспечения безаварийной работы центробежных насосов, их необходимо комплектовать определенным набором контрольно-измерительных приборов.

Чтобы обеспечить защиту рабочего колеса насоса, от случайно попавших в трубопровод с перекачиваемой средой инородных тел, на линии входа в насос рекомендуется устанавливать задвижку и фильтр.

Во избежание возможного появления процесса кавитации, вследствие оттока перекачиваемой среды, устанавливается обратный клапан и манометр для контроля давления потока на входе в насос.

Для защиты от возможного гидроудара из-за закрытой задвижки на линии нагнетания, сразу за насосом устанавливают обратный клапан и манометр для контроля давления, развиваемого насосом.

Выбирая центробежный насос из типовой размерной линейки, следует остановить свой выбор на насосе основные рабочие характеристики (производительность и напор) которого находятся в середине рабочего интервала на графиках кривых зависимостей основных рабочих характеристик для выбранного модельного ряда.

При выборе размера насоса ориентируются на максимальные значения требующихся ключевых характеристик насоса, производительности и напора, который насос должен обеспечивать, учитывая сопротивления системы, в которую будет установлен насос.

Для эффективной безаварийной работы насоса необходимо обеспечить его бескавитационную работу, которая обеспечивается соблюдением следующего условия: «кавитационный запас насоса должен быть ниже кавитационного запаса системы, в которую насос будет установлен».

Материальное исполнение проточной части насоса и деталей, контактирующих с перекачиваемой средой, выбирается, исходя из коррозионной активности перекачиваемой насосом среды.

Минимально допустимой при правильном выборе материального исполнения проточной части насоса считается скорость коррозии 0,1 мм/год (макс.)

Выбранная сталь должна обеспечивать скорость коррозии проточной части ниже 0,1 мм/год.

Физико-химическими свойствами перекачиваемой жидкости определяется, конструкция и тип применяемого в насосе узла уплотнения. Центробежные насосы могут комплектоваться сальниковым и различными видами механических уплотнений.

Потребляемая мощность насоса определяется по графикам кривых зависимостей основных рабочих характеристик насоса при значениях максимальной производительности.

Стандартно такие графики рассчитываются по воде, в случае если плотность перекачиваемой жидкости разнится с плотностью воды, необходимо полученное на графике значение потребляемой мощности насоса умножить на отношение плотности перекачиваемой жидкости/к плотности воды.

В настоящее время широко внедрена эксплуатация нефтяных месторождений с применением методов воздействия на нефтяные пласты для увеличения добычи нефти, в частности заводнения нефтяных пластов, для чего применяются в основном и центробежные многоступенчатые секционные

насосы ЦНС (ГОСТ 10407-70). Насосы ЦНС предназначены для подачи чистой неагрессивной воды с содержанием механических примесей более 0,1 % по массе твердых частиц не более 0,1 мм с подачей до 1000 м<sup>3</sup> и напором от 40 до 2000 м. К. п. д. насосов в зависимости от типоразмера изменяется от 44 до 80%.

Для подачи большего количества воды применяют насос ЦНС 500-1900 с подачей от 300 до 720 м<sup>3</sup>/ч при напорах соответственно от 2020 до 1600 м. В номинальном режиме при даче 500 м<sup>3</sup>/ч насос развивает напор 1875 м.

Различные напоры насосов достигают в результате изменения числа ступеней: от 6 до 8 у насосов ЦНС 500 и от 8 до 16 у насосов ЦНС 180.

Для нагнетания воды в пласт применяются несколько центробежных насосов, сгруппированных в одну кустовую насосную станцию. Использование пластовых вод в системах заводнения обусловило применение для подачи воды скважинных центробежных насосов.

При этом исключается сооружение промежуточных и кустовых насосных станций, объектов водоочистки и водоподготовки, так как пластовые воды могут подаваться в нефтяные горизонты без дополнительной обработки.

Широкое распространение получили многоступенчатые насосы обычно имеют опоры вала с двух сторон насоса. Они могут быть выполнены с разъемным корпусом.

Жидкость от одной ступени к другой поступает через переводные трубы в верхней части корпуса. При большом числе ступеней переводные каналы располагаются в корпусе насоса. Возможно также секционное исполнение многоступенчатого насоса, когда направляющие аппараты или обоймы ступеней затягиваются шпильками. Такой насос обычно снаружи защищен кожухом.

Напор секционного насоса равен сумме напоров, сообщаемых жидкости каждым рабочим колесом. Секционная конструкция корпуса насоса позволяет

увеличить или уменьшить напор насоса, не изменяя подачи, за счет выбора числа секций.

## **1.2 Центробежные секционные насосы типа «ЦНС»**

### **1.2.1 Принцип работы насоса типа ЦНС**

Работа насоса основана на взаимодействии лопаток вращающегося рабочего колеса и перекачиваемой жидкости. Вращаясь, рабочее колесо сообщает круговое движение жидкости, находящейся между лопатками. Вследствие возникающей центробежной силы жидкость от центра колеса перемещается к внешнему выходу, а освободившееся пространство вновь заполняется жидкостью, поступающей из всасывающей трубы под действием создаваемого разрежения.

Выйдя из рабочего колеса первой секции, жидкость поступает в каналы направляющего аппарата и затем во второе рабочее колесо с давлением, созданным в первой секции, откуда - в третье рабочее колесо с увеличенным давлением, созданным во второй секции и т.д.

Вышедшая из последнего рабочего колеса жидкость через направляющий аппарат поступает в крышку нагнетания и из нее в нагнетательный трубопровод. Во время работы насоса, вследствие давления воды на неравные по площади боковые поверхности рабочих колес, возникает осевое усилие, которое стремится сместить ротор насоса в сторону всасывания.

Для уравнивания осевого усилия в насосе предусмотрено разгрузочное устройство, состоящее из диска разгрузки, кольца и втулки разгрузки и дистанционной втулки.

Жидкость из последней ступени проходит через кольцевой зазор между втулкой разгрузки и дистанционной втулкой и давит на диск разгрузки с усилием, равным сумме усилий, действующих на рабочие колеса, но направленным в сторону нагнетания. Ротор насоса оказывается уравновешенным, равенство усилий устанавливается автоматически.

Выходящая из разгрузочной камеры жидкость охлаждает сальник со стороны нагнетания.

Сальник со стороны всасывания омывается жидкостью, поступающей под давлением из всасывающего трубопровода. Жидкость, проходя по рубашке вала через сальниковую набивку, предупреждает засасывание воздуха в насос и одновременно охлаждает сальник. Большая часть жидкости проходит через зазор между рубашкой вала и втулкой гидрозатвора в полость всасывания, часть проходит между рубашкой вала и сальником со стороны всасывания, охлаждая его, остальная часть выходит наружу через штуцер.

Затяжка сальника должна обеспечивать возможность просачивания перекачиваемой жидкости между валом и сальниковой набивкой наружу в количестве 5-15 л/ч. Меньшее количество свидетельствует об излишнем затягивании сальника, что увеличивает потери на трение и ускоряет износ рубашки вала и гайки ротора.

Ротор насоса приводится во вращение электродвигателем, присоединенным к насосу через упругую втулочно-пальцевую муфту, состоящую из двух полумуфт (насоса и электродвигателя) и пальцев с резиновыми втулками.

Направление вращения ротора насоса по часовой стрелке, если смотреть со стороны электродвигателя.

Насос и электродвигатель устанавливаются на общей фундаментной плите так, чтобы между полумуфтами оставался зазор 10 мм при роторе насоса,

сдвинутом до отказа в сторону всасывания. Монтаж электрооборудования осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.0-75.

Перед эксплуатацией электродвигатель агрегата должен быть заземлен.

### 1.2.2 Пуск центробежных насосов и их обслуживание

При подготовке к пуску центробежного насоса необходимо залить насос и всасывающую трубу водой и проверить, закрыты ли краны манометра и вакуумметра.

При пуске центробежного насоса в ход нужно открыть кран у манометра и пустить в ход электродвигатель. Когда насос разовьет полное число оборотов, а манометр покажет соответствующее давление, следует открыть кран у вакуумметра. Одновременно нужно открыть краны на трубопроводах, подводящих воду к сальникам насоса.

В случае необходимости охлаждения подшипников следует пустить воду, открыв краны на соответствующих трубопроводах.

Исследованиями, проведенными за последнее время на ряде водопроводов, установлена возможность пуска центробежных насосов при открытой задвижке на напорном трубопроводе, если имеются обратный клапан и средства для гашения гидравлического удара.

Пуск центробежного насоса при открытой задвижке на напорном трубопроводе значительно упрощает схему автоматизации и увеличивает надежность автоматического управления насосными агрегатами.

Уход за центробежным насосом во время его работы заключается:

1) в наблюдении за тем, чтобы смазочные кольца центробежного насоса свободно вращались вместе с валом и чтобы температура подшипников не превышала температуры машинного помещения более чем на 40— 50°;

2) в поддержании уровня масла в подшипниках на требуемой высоте (за уровнем масла следят по маслоуказателю); после 800—1000 час. работы центробежного насоса следует спустить грязное масло из корпусов подшипников, прочистить последние и заполнить свежим маслом;

3) в наблюдении за своевременным подтягиванием сальников насоса для того, чтобы вода из них просачивалась непрерывно редкими каплями; это необходимо не только для контроля за правильным действием гидравлического уплотнения, но и для предохранения вала и его защитной втулки от сработки набивкой;

4) в соблюдении правил техники безопасности, причем следует иметь в виду, что особую опасность представляют вращающиеся части центробежного насоса (муфта, вал, шкив).

Возможные неполадки в работе центробежного насоса, встречающиеся в процессе эксплуатации насосных установки способы их устранения приведены в таблице.

### 1.2.3 Возможные неполадки в работе насоса и способы их устранения

#### 1) Отказ от работы после пуска насоса

Возможные причины неполадок:

1. Не плотность всасывающей линии
2. Наличие в корпусе насоса воздуха
3. Закупорка трубок гидравлического сальника

Что нужно сделать для устранения неполадок:

1. Осмотреть трубопровод
2. Повторить заливку насоса
3. Осмотреть и прочистить трубки

2) Уменьшение производительности в процессе работы центробежного насоса

Возможные причины неполадок:

1. Уменьшение числа оборотов
2. Просачивание воздуха во всасывающую линию или в корпус насоса через сальники
3. Увеличение сопротивлений в напорном трубопроводе
4. Увеличение высоты всасывания
5. Засорение рабочего колеса.

Механические повреждения:

- а) износ уплотнительных колец
- б) повреждение рабочего колеса

Что нужно сделать для устранения неполадок:

1. Проверить двигатель насоса
2. Проверить трубопровод, подтянуть или сменить набивку сальника
3. Проверить все задвижки и места возможных засорений трубопровода
4. Проверить по вакуумметру; осмотреть всасывающий трубопровод
5. Осмотреть и прочистить колесо
6. Сменить поврежденные детали

3) Уменьшение напора в процессе работы насоса

Возможные причины неполадок:

1. Уменьшение числа оборотов
2. Наличие воздуха в воде
3. Повреждение (разрыв) напорного трубопровода



Механические повреждения:

- а) износ уплотняющих колец
- б) повреждение рабочего колеса насоса

Что нужно сделать для устранения неполадок:

1. Проверить двигатель насоса
2. Проверить всасывающий трубопровод;
3. подтянуть или сменить набивку сальника
4. Прикрыть задвижку на напорном трубопроводе и осмотреть его
5. Сменить поврежденные детали

4) Перегрузка двигателя центробежного насоса

Возможные причины неполадок:

1. Число оборотов выше расчетного
2. Производительность насоса выше допустимой, напор меньше расчетного
3. Механические повреждения двигателя или насоса

Что нужно сделать для устранения неполадок:

1. Проверить двигатель
2. Прикрыть задвижку на напорном трубопроводе
3. Проверить двигатель и насос

5) Вибрация и шум

Возможные причины неполадок:

1. Неправильная установка
2. Частичное засорение рабочего колеса насоса
3. Ослабление креплений на напорной и всасывающей трубах насоса

Механические повреждения:

- а) прогиб вала
- б) заедание вращающихся частей

в) износ подшипников

б) Чрезмерная высота всасывания; явление кавитации

Что нужно сделать для устранения неполадок:

1. Проверить насосный агрегат
2. Осмотреть и прочистить насос
3. Сменить поврежденные детали
4. Подтянуть крепление
5. Остановить насос и принять меры к уменьшению высоты всасывания

Для остановки центробежного насоса необходимо:

- 1) медленно закрыть задвижку на напорном трубопроводе, переведя таким образом центробежный насос на холостой ход;
- 2) закрыть кран у вакуумметра;
- 3) выключить двигатель насоса;
- 4) закрыть кран у манометра и на трубопроводах, подводящих воду для заливки сальников и охлаждения подшипников.

Если центробежные насосы находятся в неотапливаемом помещении, то в зимнее время необходимо следить за тем, чтобы насос и трубопроводы не оставались заполненными водой.

### **1.3 Патентные модификации многоступенчатых секционных центробежных насосов**

Патент № 40083 – Насос для поддержания пластового давления

Многоступенчатый секционный центробежный насосам, предназначенный для заводнения нефтяных пластов, и может быть использован для систем поддержания пластового давления.

Задачей, решаемой использованием предлагаемой полезной модели, является повышение диапазона подач, напоров, повышение ресурса, КПД и снижение потребления электроэнергии.

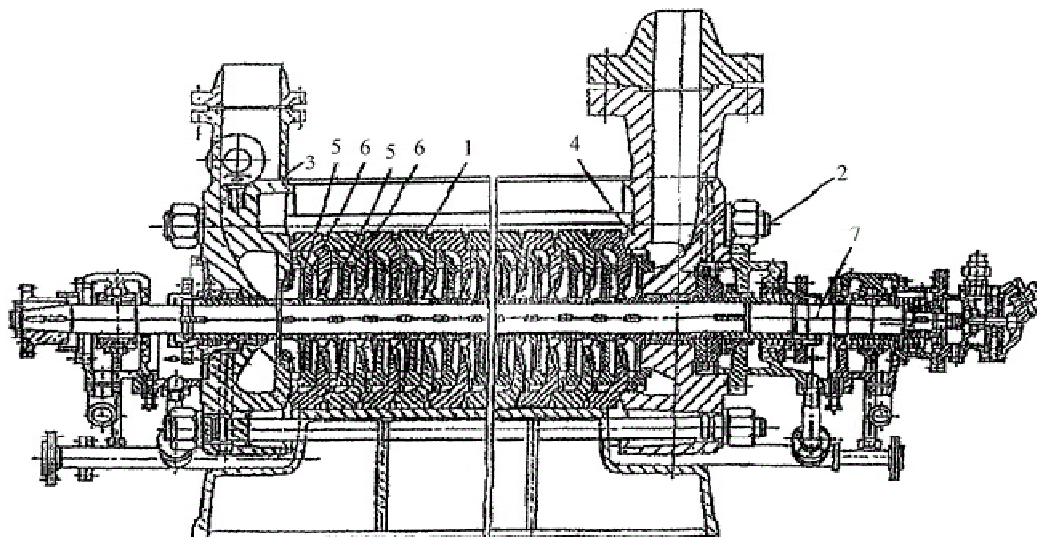


Рисунок 6 – Разрез предполагаемой конструкции насоса

Известны многоступенчатые секционные насосы серии ЦНС, содержащие корпус, выполненный из секций, стянутых шпильками, входной и выходной каналы, совмещенные с всасывающей и нагнетательной крышками, и, собственно ступени насоса, расположенные в промежуточных секциях и состоящие из рабочих колес и направляющих аппаратов с диффузорными каналами

Недостатками этих насосов являются: узкий диапазон производительностей от 100 до 180 М<sup>3</sup>/час, недостаточная гамма напоров 1050,1422 и 1900 метров водяного столба, низкий КПД - до 73% в номинальной точке.

Известен также насос для поддержания пластового давления серии ЦНС, содержащий корпус с торцевыми всасывающей и нагнетательной крышками, выполненный из секций, стянутых шпильками, с боковыми входным и выходным каналами, совмещенными с каналами соответственно

всасывающей и нагнетательной крышек, вал со шпонками, и съемные ступени насоса в виде взаимодействующих с валом рабочих колес и удерживаемых корпусом направляющих аппаратов, рассчитанный на более высокую производительность (Нефтепромысловое оборудование: Справочник / под ред. Е.И.Бухаленко - М.: Недра, 1990. - 550 с. ил., с.528-533 - прототип).

Недостатком известного устройства, выбранного нами в качестве прототипа по большинству совпадающих признаков, является невозможность оперативного изменения производительности и напора при использовании конкретного типоразмера насоса.

Техническая сущность предлагаемого решения заключается в том, что известный насос для поддержания пластового давления, содержащий корпус с торцевыми всасывающей и нагнетательной крышками, выполненный из секций, стянутых шпильками, с боковыми входным и выходным каналами, совмещенными с каналами соответственно всасывающей и нагнетательной крышек, вал со шпонками, и съемные ступени насоса в виде взаимодействующих с валом рабочих колес и удерживаемых корпусом направляющих аппаратов, снабжен несколькими комплектами ступеней с заранее подобранными производительностью и напором, и габаритами, соответствующими данному корпусу и валу.

Снабжение известного устройства несколькими комплектами ступеней с заранее подобранными производительностью и напором, и габаритами, соответствующими данному корпусу и валу, обеспечивает оперативную замену имеющихся ступеней, обеспечивающих недостаточную, или наоборот, чрезмерную производительность, другим комплектом, производительность которого соответствует параметрам разрабатываемого пласта.

Для увеличения диапазона подач предлагается на базе многоступенчатого секционного центробежного насоса ЦНС-180, содержащего корпус, выполненный из секций, стянутых шпильками, входной и выходной каналы, совмещенные с всасывающей и нагнетательной крышками, и, собственно ступени насоса, расположенные в промежуточных секциях и состоящие из рабочего колеса и направляющего аппарата, создать гамму проточных частей: рабочее колесо и направляющий аппарат с номинальной производительностью 90, 120, собственно 180, 240 и 300 метров кубических в час, без изменения размеров остальных основных деталей насосов ЦНС180: корпуса, выполненного из секций, стянутых шпильками, входной и выходной каналы, совмещенные с всасывающей и нагнетательной крышками, вала насоса и устанавливать их в зависимости от необходимой производительности при проведении капитального ремонта насосов ЦНС-180 или собирать при необходимости из соответствующих ремкомплектов.

Для увеличения диапазонов напора предлагается изготавливать гамму насосов с производительностью 90, 120, собственно 180, 240 и 300 метров кубических в час с различным количеством ступеней (до 15 ступеней) с шагом равным одной ступени.

Для повышения КПД (на 5-7%) предлагается снизить непроизводительные перетоки внутри насоса, за счет изготовления ступеней насоса с профилями, конкретными для каждого типоразмера и исключению перетоков по валу.

Многоступенчатый секционный центробежный насос для поддержания пластового давления содержит корпус, выполненный из секций 1, стянутых шпильками 2, с крышкой всасывания 3 и напорной крышкой 4, и собственно ступеней насоса, состоящих из рабочих колес 5 и направляющих аппаратов 6.

Колеса взаимодействуют с валом 7 насоса, а аппараты - с секциями 1 корпуса.

Предлагаемая полезная модель работает следующим образом.

Если в процессе эксплуатации базовой модели насоса (ЦНС-180) выясняется, что производительность и напор не соответствуют требуемым характеристикам продуктивного пласта, то производится оперативная замена ступеней насоса ступенями, состоящими из колес 5 и аппаратов 6 с требуемыми параметрами.

В зависимости от необходимой производительности насоса (90; 120; 180; 240; 300 М<sup>3</sup>/час) ступени устанавливаются в корпус, увеличивая таким образом диапазон производительностей базового насоса от 90 до 300 м<sup>3</sup>/час, и увеличение диапазона давлений путем изменения количества ступеней от 100 до 200 атм, с гарантией роста КПД насоса путем снижения непроизводительных перетоков жидкости внутри насоса.

Базовый многоступенчатый секционный центробежный насос ЦНС180 является основным насосом, используемым для закачки воды в пласт в процессе добычи нефти. Выпуск данного типа насосов составляет примерно 10000 шт. с начала производства и требует проведения коренной модернизации:

расширения диапазона подач, напоров и повышения экономичности (КПД).

Экономичность закачки воды в пласт, с целью поддержания пластового давления в процессе добычи нефти, достигается применением характеристик насосов, совпадающих с характеристиками системы трубопроводов и скважин кустовой насосной станции, за счет увеличения диапазона производительностей, напоров, применения проточных частей с более высокими КПД, коррозионно-стойких и износостойких материалов,

устойчивых к химическому составу перекачиваемых вод, установленных в обычные серийные насосы ЦНС 180.

Разработанная гамма насосов позволит повысить экономичность, как проектируемых систем, так и путем подгонки характеристики насоса при проведении капитального ремонта насоса, используя, ремкомплекты насосов ЦНС 90; 120; 180; 240; и 300, и количество ступеней под характеристику конкретной кустовой насосной станции, снижение потребления электроэнергии при этом достигается от 10 до 30%, сохраняя систему энергоснабжения и автоматизации агрегатов.

Технико-экономическая эффективность

1. Расширение диапазона производительностей и напоров насоса для ППД.
2. Повышение ресурса и КПД насосов для ППД.
3. Снижение непроизводительных затрат времени на монтаж и снижение расхода электроэнергии.

Патент № 127275 – Ступень статора центробежного многоступенчатого насоса

Разработка относится к области насосостроения, в частности к многоступенчатым секционным центробежным насосам, предназначенным для перекачивания жидкости, в том числе больших ее объемов с обеспечением значительных показателей давления. Согласно разработке ступень статора центробежного многоступенчатого насоса включает диск, корпус секции статора и резьбовой способ соединения составляющих ступени насоса. Новым в ступени статора центробежного многоступенчатого насоса является то, что он дополнительно включает второй диск,

соединенный с первым в зоне выступа на боковой поверхности второго диска, который имеет ширину, что соответствует толщине проточного канала рабочего колеса, в выступе сформированы каналы направляющего аппарата, и третий диск, который также подсоединен к первому диску в зоне выступа на боковой поверхности третьего диска со стороны противоположной стороне присоединения второго диска, причем в выступе на боковой поверхности третьего диска также сформированы проточные каналы, а корпус секции статора выполнен в виде кольца, прикрепленного к ребордам второго и третьего дисков. Применение новой конструкции ступени центробежного многоступенчатого насоса и новый характер связи между ее составляющими обеспечивает возможность выполнить более сложный профиль проточной части статора, в том числе с оптимальным ее профилем, что соответствует профилю поля скоростей потока, что улучшает эффективность работы насоса. Ввод дополнительного соединения составных деталей секции является одним из факторов снижения способности к генерации вибраций и интенсивности вибрации деталей. Из подобных составляющих деталей могут быть выполнены различные секции многоступенчатого насоса с разным размещением проточных каналов статора в соседних секциях, что является вторым фактором снижения способности к генерации вибраций. При этом возникает возможность десинхронизации вибраций различных секций.

Полезная модель относится к области насосостроения, в частности к многоступенчатым секционным центробежным насосам, предназначенным для перекачивания жидкости, в том числе больших ее объемов с обеспечением значительных показателей давления.

Известна ступень статора центробежного многоступенчатого насоса (RU 99551, МПК F04D 29/44, F04D 1/06, F04D 7/02, заявка: 2010120404/06,



дата подачи 21.05.2010, опубликовано 20.11.2010), внутренняя проточная часть направляющего аппарата которой выполнена как единая цельнолитая конструкция из термопластичного материала с внутренним межлопаточным геометрическим пространством, сформированным путем применения литья по выплавляемым формам, внешняя геометрическая форма которых полностью соответствует внутреннему межлопаточному пространству проточных каналов направляющего аппарата.

Недостатком такой ступени центробежного многоступенчатого насоса является то, что она имеет ограниченную сферу применения для небольших давлений жидкости в насосе, вследствие незначительных прочностных характеристик термопластичного материала, из которого она выполнена.

При этом такой насос, в котором каждая ступень центробежного многоступенчатого насоса повторяется, имеет повышенную способность к генерации вибрации, вследствие повторения спектра частот собственных колебаний одинаковых повторяющихся ступеней центробежного многоступенчатого насоса. В такой ступени сложно сформировать пассивные направляющие потока жидкости, что ухудшает эффективность работы насоса.

Наиболее близкой к полезной модели является ступень статора центробежного многоступенчатого насоса, включающая диск, корпус секции статора и резьбовой способ соединения составляющих ступени насоса (RU 2362909, МПК F04D 1/06 F04D 29/44, опубл. 27.07.2009). Известный насос выполнен из одинаковых ступеней, которые соединены снаружи корпуса шпильками, при этом ступень насоса состоит из рабочего колеса и направляющего аппарата статора, что в свою очередь состоит из диска с двумя выступами, один из которых размещен над выходным каналом из рабочего колеса и имеющий ширину, соответствующую толщине секции

рабочего колеса, в котором сформированы диффузорные каналы, выполненные с углом между осью симметрии диффузорного канала и радиусом направляющего аппарата, проведенным из центра к входу этого канала, равному  $68-84^\circ$ , а второй выступ размещен на противоположной боковой поверхности диска, в котором также выполнены каналы, при этом диск размещен в корпусе секции статора, выполненный в виде стакана, причем реборда диска выполнена с обеспечением контакта с внутренней боковой стенкой корпуса статора, а второй боковой выступ диска выполнен с обеспечением контакта с условным доньшком корпуса секции статора.

Недостатком такой конструкции ступени центробежного многоступенчатого насоса является то, что элементы ступеней соединены только снаружи корпуса, а внутренние элементы ступеней не соединены, что повышает генерацию вибрации. При этом такой насос, в котором (как и в предыдущем аналоге) каждая ступень центробежного многоступенчатого насоса повторяется дополнительно вызывает повышение вибрации вследствие повторения спектра частот собственных колебаний одинаковых ступеней центробежного многоступенчатого насоса. В такой ступени сложно сформировать пассивные направляющие потока жидкости, в том числе с расширением их пересечения в центре потока, что ухудшает эффективность работы насоса.

Задачей полезной модели является создание ступени статора центробежного многоступенчатого насоса, в которой за счет применения новых конструктивных элементов, новых геометрических форм конструктивных элементов и нового характера их связи обеспечивается возможность выполнять более сложный профиль проточной части статора, в том числе с оптимальным ее профилем, соответствующим профилю поля скоростей потока в каналах проточной части, который улучшает

эффективность работы насоса, снижает способность к генерации вибраций и интенсивность вибраций деталей.

Для решения поставленной задачи ступень статора центробежного многоступенчатого насоса, включающая диск, корпус секции статора и резьбовой способ соединения составляющих ступени насоса, согласно полезной модели дополнительно включает второй диск, соединенный с первым в зоне выступа на боковой поверхности второго диска, который имеет ширину, что соответствует ширине проточного канала рабочего колеса, а в выступе сформированы каналы направляющего аппарата, и третий диск, который также подсоединен к первому диску в зоне выступа на боковой поверхности третьего диска со стороны, противоположной стороне присоединения второго диска, причем, в выступе на боковой поверхности третьего диска также сформированы проточные каналы, а корпус секции статора выполнен в виде кольца, присоединенного к ребордам второго и третьего дисков.

Из подобных составляющих деталей могут быть выполнены различные секции многоступенчатого насоса с различным размещением проточных каналов статора в соседних секциях, что является вторым фактором снижения способности к генерации вибраций. При этом возникает возможность десинхронизации вибраций различных секций.

Ступень статора центробежного многоступенчатого насоса иллюстрируется примером его исполнения.

На рисунке 12 изображен поперечный разрез ступени статора центробежного многоступенчатого насоса, на фиг.2 представлен вид слева ступени статора центробежного многоступенчатого насоса, на фиг.3 - вид справа ступени статора центробежного многоступенчатого насоса. На фиг.4 изображен поперечный разрез центробежного многоступенчатого насоса.

Ступень статора центробежного многоступенчатого насоса включает первый диск 1, второй диск 2, соединенный с первым посредством резьбового элемента 3 в зоне выступа 4. На боковой поверхности второго диска, имеющего ширину, соответствующую толщине проточного канала 5 рабочего колеса 6, в выступе сформированы каналы 7 направляющего аппарата и третьим диском 8, который также присоединен к первому диску в зоне выступа 9.

На боковой поверхности, третьего диска со стороны, противоположной стороне присоединения второго диска. Причем. В выступе на боковой поверхности третьего диска также сформированы проточные каналы 10, а корпус 11 секции статора выполнен в виде кольца, присоединенного к ребордам 12, 13 второго и третьего дисков.

При изготовлении ступени статора центробежного многоступенчатого насоса на выступах 4, 9 дисков 2 и 8 с помощью фрезерования выполняются проточные каналы 5, 10. В процессе монтажа ступени статора центробежного многоступенчатого насоса диски 1, 2, 8 соединяются с помощью резьбовых элементов 3. Корпус 11 секции статора присоединяют к ребордам 12, 13 дисков с помощью сварки.

Многоступенчатый центробежный насос состоит из указанных ступеней, которые соединяются известным способом. При работе насоса жидкость, которая разгоняется центробежными силами, возникающими при вращении рабочего колеса 6 с помощью проточных каналов 5 и 10 направляется в рабочее колесо следующей ступени.

Формула полезной модели

Ступень статора центробежного многоступенчатого насоса, включающая диск, корпус секции статора и резьбовой способ соединения составляющих ступени насоса, отличающаяся тем, что дополнительно

включает второй диск, соединенный с первым в зоне выступа на боковой поверхности второго диска, который имеет ширину, что соответствует ширине проточного канала рабочего колеса, а в выступе сформированы каналы направляющего аппарата, и третий диск, который также подсоединен к первому диску в зоне выступа на боковой поверхности третьего диска со стороны, противоположной стороне присоединения второго диска, причем в выступе на боковой поверхности третьего диска также сформированы проточные каналы, а корпус секции статора выполнен в виде кольца, присоединенного к ребрам второго и третьего дисков.

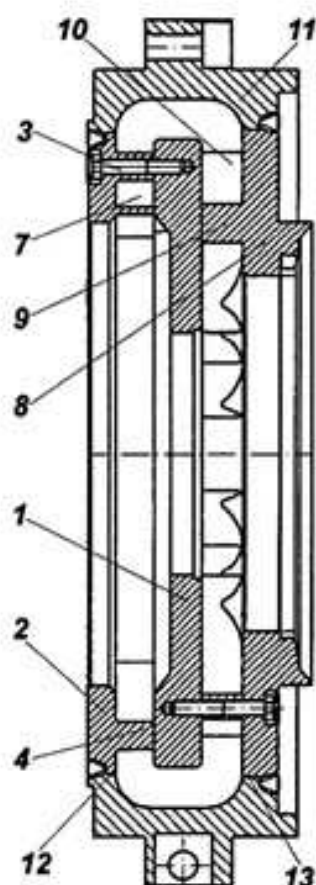


Рисунок 7 – Ступень статора центробежного секционного насоса

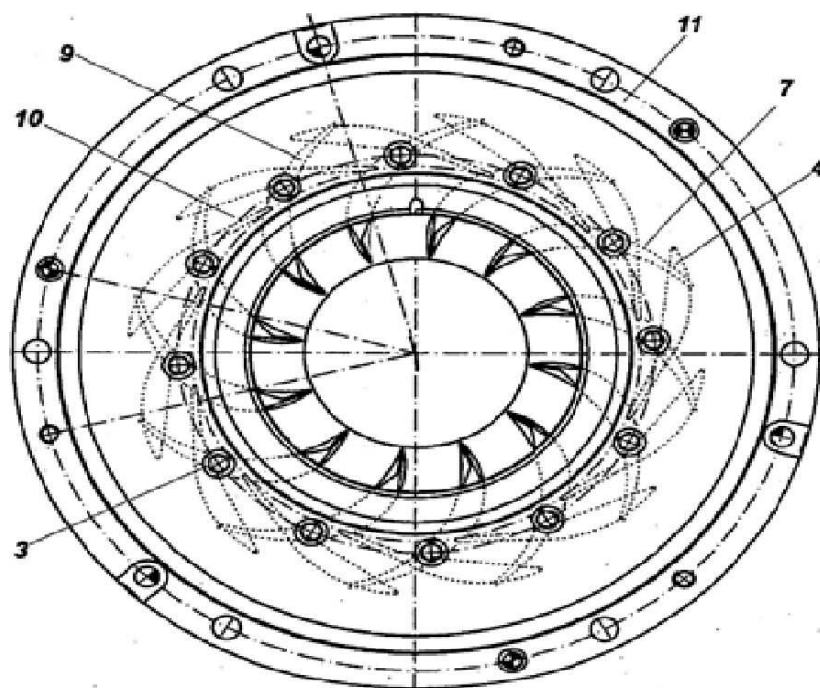
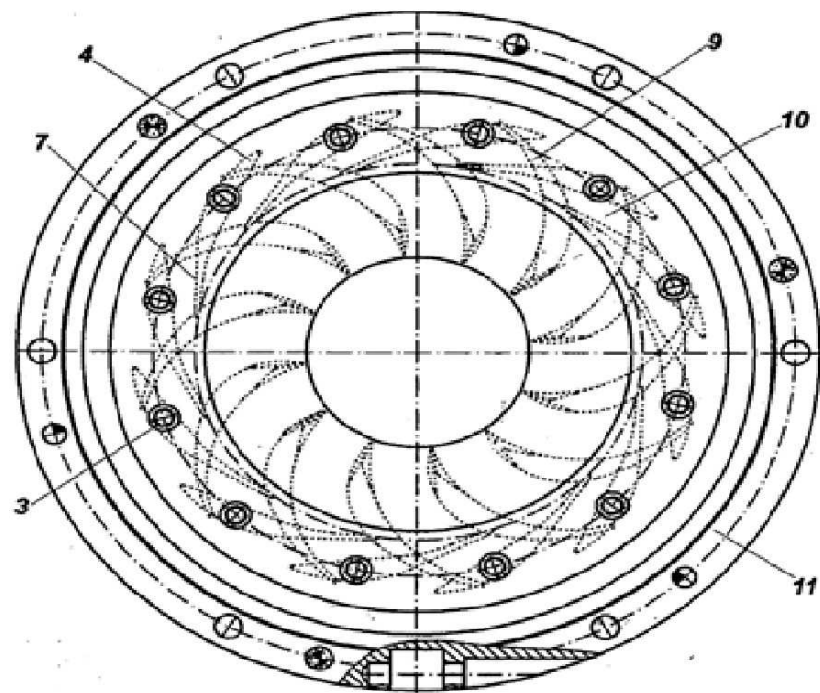


Рисунок 8- Статор центробежного насоса

Патент №116920 - Многоступенчатый центробежный насос с предвключенным (бустерным) устройством

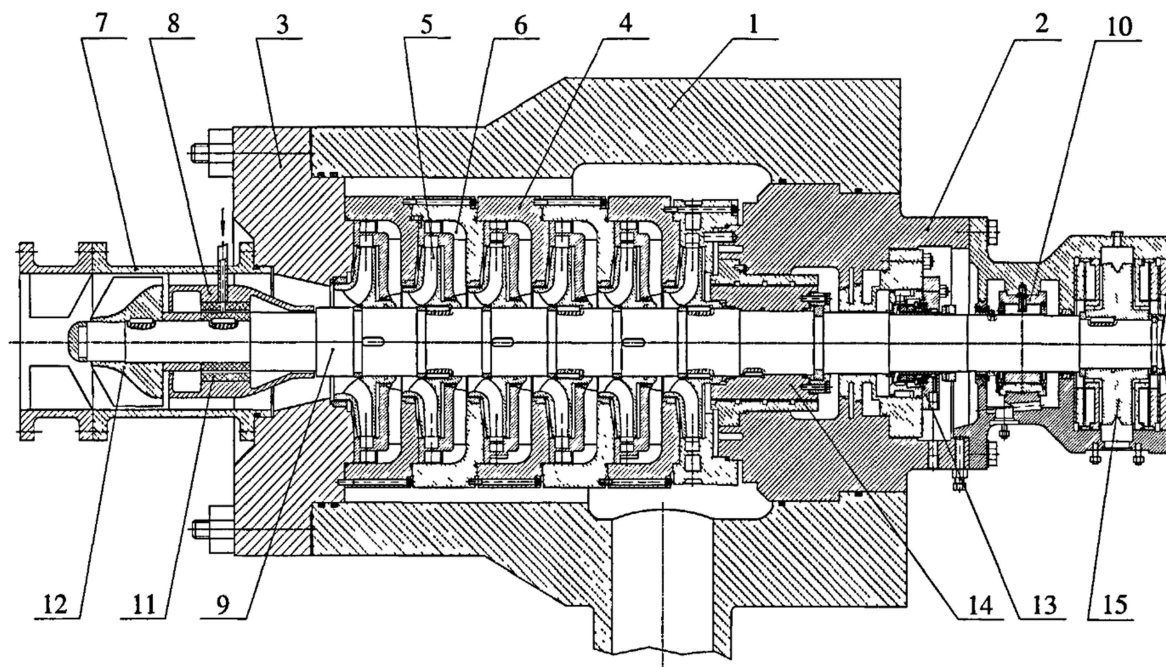


Рисунок 9 - Многоступенчатый центробежный насос с бустерным устройством, продольный разрез

Модель относится к отрасли гидромашиностроения, а именно к питательным центробежным многоступенчатым насосам, в том числе и высокооборотным, и может быть использована для подачи питательной воды в энергоблоку тепловых и атомных электростанций.

Известен многоступенчатый насос с боковым подводом, содержащий направляющие аппараты и рабочие колеса, установленные на валу, опирающемся на подшипники скольжения с принудительной смазкой. Разгрузка осевого усилия ротора осуществляется с помощью разгрузочного поршня и упорного подшипника. Концевые уплотнения - механические торцового типа. Насос обеспечен бустерным устройством, представляющим собой установленный перед ним предвключенный насос, создающий

давление на входе в многоступенчатый центробежный насос, достаточное для обеспечения его бескавитационной работы. [Бушзипер П. Концепция конструкции питательных насосов фирмы Sulzer. Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия «Машиностроение», выпуск 6. - №1 (41). - 2005. - С.65-72]. Данная конструкция насоса выбрана в качестве прототипа для заявляемого объекта.

Недостатком рассматриваемого насоса являются большие капитальные и эксплуатационные затраты, так как необходимость установки и использования дополнительного предвключенного насоса увеличивает стоимость как самого объекта, так и его жизненного цикла, а также требует увеличения площадей и вложений для его установки.

В основу полезной модели поставлена задача создания многоступенчатого центробежного насоса, в котором, путем введения новых конструктивных элементов и нового исполнения существующих конструктивных элементов, обеспечиваются повышение всасывающей способности и возможность эксплуатации насоса без дополнительного предвключенного насоса, результатом чего является снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Поставленная задача достигается тем, что в многоступенчатом центробежном насосе, содержащем напорную и входную крышки, корпус секционного типа с направляющими аппаратами и рабочими колесами, установленными на валу, опирающемся на подшипники скольжения, устройство разгрузки осевого усилия, согласно полезной модели:

- на входе в насос во входной крышке размещено бустерное устройство, состоящее из предвключенного осевого колеса с увеличивающимся от входа к выходу диаметром и лопастной системой с густотой лопастной решетки на наружном диаметре в интервале от 2,0 до 4,0,



а также с возможностью выполнения лопастной системы колеса многорядной, и направляющего аппарата с возможностью выполнения его лопаточной системы многокаскадной;

- подводящее устройство жидкости в насос выполнено осевым;

- подшипник скольжения со стороны входной крышки размещен во втулке направляющего аппарата входного устройства и выполнен работающим на перекачиваемой жидкости.

Введение в компоновку многоступенчатого центробежного насоса бустерного устройства, размещенного на входе в насос во входной крышке и состоящего из предвключенного осевого колеса и направляющего аппарата, установленного между предвключенным осевым колесом и центробежным рабочим колесом первой ступени, позволяет использовать динамическую составляющую напора предвключенного колеса для увеличения располагаемого кавитационного запаса на входе в центробежное рабочее колесо. При этом также сохраняется высокая экономичность насоса за счет оптимального согласования потока, выходящего из предвключенного осевого колеса, с входным участком лопастной системы центробежного рабочего колеса.

Возможное исполнение втулки предвключенного осевого колеса профилированной с увеличивающимся от входа к выходу диаметром позволяет избежать отрыва потока в лопастной системе предвключенного осевого колеса и, как следствие, повысить экономичность бустерного устройства и избежать снижения экономичности насоса в целом.

Возможное исполнение лопастной системы предвключенного осевого колеса с густотой лопастной решетки на наружном диаметре в интервале от 2,0 до 4,0 обеспечивает максимальный эффект повышения всасывающей способности насоса.

Исполнение лопастной системы предвключенного осевого колеса, имеющего густоту лопастной решетки на наружном диаметре в интервале от 2,0 до 4,0, многорядной позволяет сократить осевые габариты предвключенного осевого колеса при сохранении повышенной густоты его лопастной системы. При этом также увеличивается напор предвключенного осевого колеса и тем самым повышается располагаемый кавитационный запас на входе в центробежное рабочее колесо насоса.

Исполнение лопаточной системы направляющего аппарата бустерного устройства многокаскадной позволяет избежать технологических трудностей, связанных с технологией изготовления закрытых длинных искривленных лопаток, при сохранении значения густоты его лопаточной системы направляющего аппарата, необходимой для предотвращения отрыва потока и обеспечения высокой экономичности бустерного устройства и насоса в целом.

Выполнение подводящего устройства жидкости в насосе осевым, которое, в сравнении с боковым, имеет меньший коэффициент гидравлического сопротивления и обеспечивает минимальную неравномерность распределения скоростей потока на входе в рабочее колесо первой ступени, позволяет дополнительно повысить всасывающую способность многоступенчатого центробежного насоса.

Размещение во втулке направляющего аппарата бустерного устройства гидродинамического или гидростатического подшипника скольжения позволяет отказаться от подшипника на масляной смазке, что дает возможность формирования осевого подвода жидкости, и таким образом дополнительно повысить всасывающую способность и, кроме того, компенсировать негативный эффект увеличения осевых габаритов насоса при

введении в его компоновку бустерного устройства, сохраняя осевые габариты многоступенчатого центробежного насоса на уровне прототипа.

Таким образом, использование совокупности приведенных признаков заявляемой полезной модели обеспечивает повышение всасывающей способности и исключает необходимость использования дополнительного предвключенного насоса и как следствие, снижает капитальные и эксплуатационные затраты.

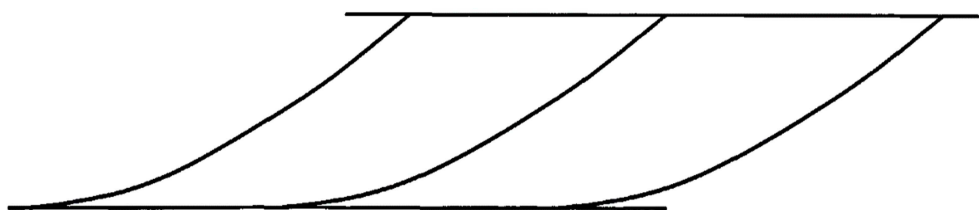


Рисунок 10 - Развертка кольцевого сечения лопастной системы предвключенного осевого колеса на наружном диаметре (однорядная решетка)

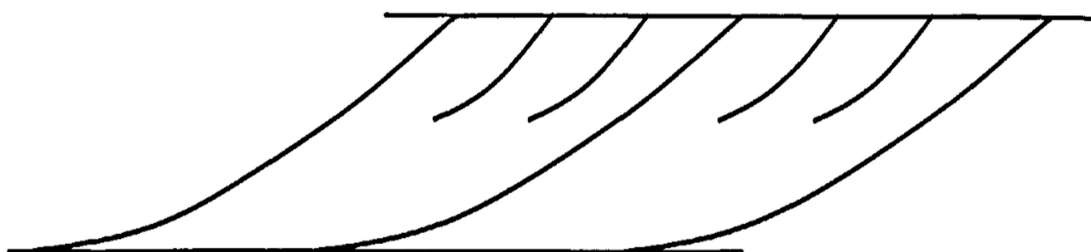


Рисунок 11 - Развертка кольцевого сечения лопастной системы предвключенного осевого колеса на наружном диаметре (двухрядная решетка)

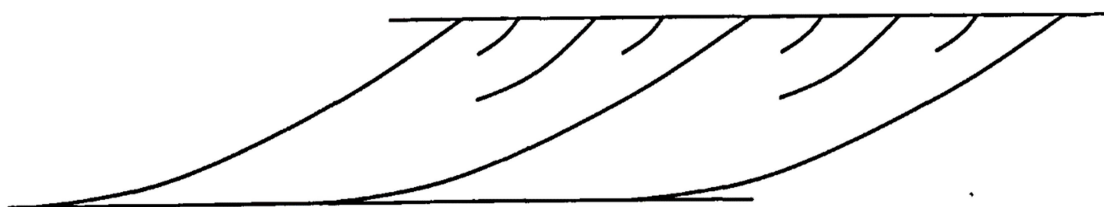


Рисунок 12 - Развертка кольцевого сечения лопастной системы предвключенного осевого колеса на наружном диаметре (трехрядная решетка)

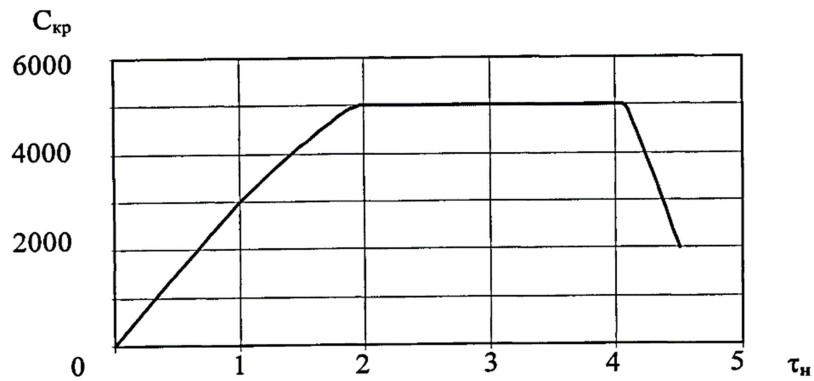


График 2 - График, показывающий зависимость критического кавитационного коэффициента быстроходности многоступенчатого центробежного насоса от густоты лопастной решетки

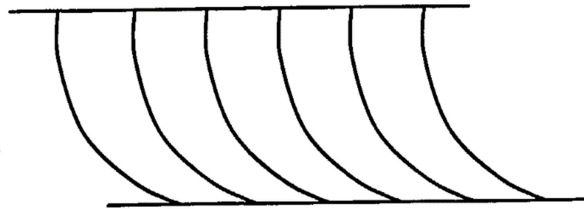


Рисунок 13 - Развертка кольцевого сечения лопастной системы направляющего аппарата предвключенного устройства на наружном диаметре (однокаскадная решетка)

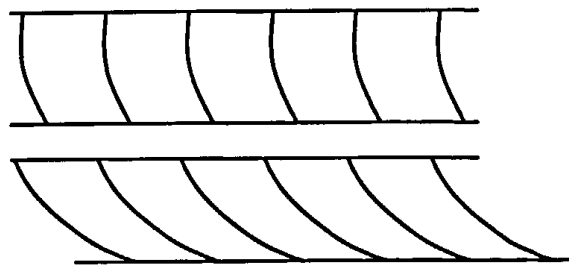


Рисунок 14 - Развертка кольцевого сечения лопастной системы направляющего аппарата бустерного устройства на наружном диаметре (двухкаскадная решетка)

Многоступенчатый центробежный насос содержит наружный корпус 1 с напорной 2 и входной 3 крышками. Внутренний корпус секционного типа (картриджное исполнение как вариант) включает секции 4, центробежные рабочие колеса 5 с направляющими аппаратами 6 и трубу осевого

подводящего устройства 7 с направляющим аппаратом бустерного устройства 8. Рабочие колеса 5 установлены на валу 9, опирающемся на подшипник скольжения 10 с принудительной масляной смазкой и гидродинамический либо гидростатический подшипник скольжения 11, работающий на перекачиваемой жидкости и располагаемый во втулке направляющего аппарата бустерного устройства 8. На входе в насос на валу 9 установлено предвключенное осевое колесо 12 с лопастной системой в виде однорядной решетки (рисунок 10) или, как вариант, в виде двухрядной или трехрядной решеток (рисунки 11, 12). Густота лопастных решеток (рисунки 11, 12, 13) выполнена в интервале от 2,0 до 4,0, что повышает всасывающую способность насоса. Это подтверждают результаты обобщения расчетных и экспериментальных исследований, выполненных в ОАО «ВНИИАЭН». Так, на графике 2 представлен график, показывающий зависимость критического кавитационного коэффициента быстроходности многоступенчатого центробежного насоса с бустерным устройством в виде предвключенного осевого колеса от густоты лопастной решетки последнего. Критический кавитационный коэффициент быстроходности определяется по формуле:

$$C_{кр} = (5,62 \times n \times Q^{0,5}) / \Delta h_{кр}^{0,75},$$

где  $n$  - частота вращения насоса, об/мин;

$Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta h_{кр}$  - критический кавитационный запас насоса, соответствующий 3%-му снижению напора, м.

Густота лопастной решетки  $\tau_n$  определяется по формуле:

$$\tau_n = (z \times l_n) / (\pi \times D_n),$$

где  $z$  - число лопастей предвключенного осевого колеса;

$l_n$  - длина лопасти предвключенного осевого колеса на наружном диаметре, м;

$D_n$  - наружный диаметр предвключенного осевого колеса, м

При значении густоты лопастной решетки в интервале от 2,0 до 4,0 напор предвключенного осевого колеса 12 имеет максимальное значение и, как следствие, располагаемый кавитационный запас на входе в рабочее колесо 5 первой ступени имеет максимальное значение. При увеличении густоты лопастной решетки свыше 4,0 резко увеличиваются гидравлические потери на трение в межлопастных каналах предвключенного осевого колеса 12, приводящие к падению его напора и, как следствие, к уменьшению располагаемого кавитационного запаса на входе в рабочее колесо 5 первой ступени. Густоты лопастной решетки при значении ее меньше 2,0 недостаточно для обеспечения полного поворота потока в соответствии с кривизной межлопастных каналов предвключенного осевого колеса 12 и, как следствие, располагаемый кавитационный запас на входе в центробежное рабочее колесо 5 первой ступени падает. Таким образом, обеспечение для заданных условий максимального напора предвключенного осевого колеса 12 (максимального располагаемого кавитационного запаса на входе в центробежное колесо 5 первой ступени) предопределяет повышение всасывающей способности многоступенчатого центробежного насоса.

В качестве концевой уплотнения вала 9 со стороны напорной крышки 2 применено механическое уплотнение торцового типа 13. Для разгрузки осевых сил использованы разгрузочный поршень 14 и упорный подшипник сегментного типа 15. Лопаточная система направляющего аппарата бустерного устройства 8 выполнена однокаскадной (рисунок 14) или, как вариант, многокаскадной.

Насос работает следующим образом. При вращении вала 9 перекачиваемая жидкость через трубу подводящего устройства 7 при помощи предвключенного осевого колеса 12 поступает в направляющий аппарат входного устройства 8, затем - к рабочему колесу 5 и направляющему аппарату 6 первой ступени, проходит по всем ступеням насоса и из направляющего аппарата 6 последней ступени поступает в камеру отвода и напорный патрубок наружного корпуса 1 и далее - в напорный трубопровод.

Использование предлагаемой полезной модели позволяет повысить всасывающую способность насоса и обеспечить его эксплуатацию без дополнительного насоса.

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Состав центробежного секционного насоса

Строение многоступенчатого насоса ЦНС устроено так, что его корпус имеет отдельные секции, число которых всегда на одну единицу меньше, чем количество рабочих колес. Это связано с тем, что одно из рабочих колес располагается в передней крышке. Благодаря такой конструкции корпуса насоса есть возможность как увеличивать, так и уменьшать напор, при той же подаче. Рассчитать напор можно сложив напоры, которые создает каждое рабочее колесо.

Производитель для изготовления основных деталей использует следующие материалы:

- чугун СЧ20;
- сталь 35Л;
- сталь 40Х.

Для уплотнения вала от протечек используют сальники. Если необходимо, по заказу, можно устанавливать торцовое уплотнение. Для электропривода насоса используется электродвигатель АИР общепромышленного исполнения.

Исходя из конструктивных особенностей, корпус имеет такое строение:

- задний и передний держатель;
- крышек для нагнетающих и всасывающих систем, в этих крышках расположена смазка;
- корпусов и крышек направляющих аппаратов, для их соединения используются стягивающие булавы.

На вал рота установлены втулка, гидروطный диск, полумуфта, элементы для регулировки и рабочие колеса (рубашка вала). Для их фиксации и стяжки применяются специальные гайки. Асинхронный электродвигатель приводит в



движение такое оборудование через муфту. В корпусе предусмотрена охлаждающая полость, с помощью которой происходит охлаждение подшипников.

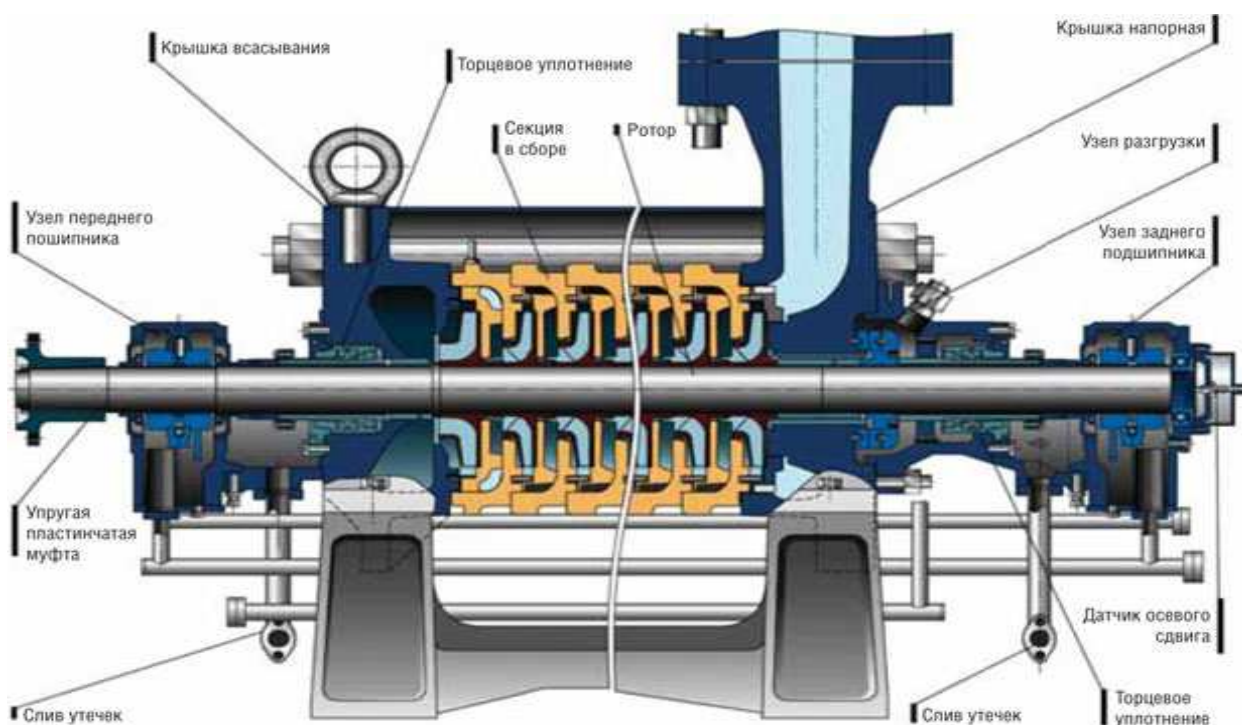


Рисунок 15 – Структура центробежного секционного насоса

### Параметры перекачиваемой жидкости

Таблица 1- параметры перекачиваемой жидкости

Параметр	Значение	Ед. измерения
Плотность	700-1050	кг/м <sup>3</sup>
Кинематическая вязкость, не более	1,5*10 <sup>-4</sup>	м <sup>2</sup> /сек
pH	7-8,5	
Давление насыщенных паров, не более	665	Гпа
Содержание, не более:		
- газа (объемное)	3	%
- парафина	20	
- сероводородов	0	
- механических примесей с размером твердых частиц до 0,2мм и микротвердостью 1,47Гпа	0,2	
- обводненность	90	

## Технические характеристики насосов ЦНС

Таблица 2 - Технические характеристики насосов типа ЦНС

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /час	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Мощность потребляемая насосом, кВт	КПД, %	Допускаемый кавитационный запас
ЦНС13-70	13	70	2950	5,2	48	3
ЦНС13-105		105		7,7		
ЦНС13-140		140		10,3		
ЦНС13-175		175		12,9		
ЦНС13-210		210		15,2		
ЦНС13-245		245		17,7		
ЦНС13-280		280		20,2		
ЦНС13-315		315		22,8		
ЦНС13-350		350		25,3		
ЦНС38-44	38	44	2950	6,8	67	3,6
ЦНС38-66		66		10,2		
ЦНС38-88		88		13,6		
ЦНС38-110		110		17,0		
ЦНС38-132		132		19,8	69	
ЦНС38-154		154		23,1		
ЦНС38-176		176		26,4		
ЦНС38-198		198		29,7		
ЦНС38-220		220		33,0		
ЦНС60-66	60	66	2950	15,7	67	4,5
ЦНС60-99		99		23,5		
ЦНС60-132		132		31,3		
ЦНС60-165		165		39,1		
ЦНС60-198		198		45,6	70	
ЦНС60-231		231		53,2		
ЦНС60-264		264		60,8		
ЦНС60-297		297		68,4		
ЦНС60-330		330		76,0		
ЦНС60-50	60	50	1475	12,8	64	3
ЦНС60-75		75		19,2		
ЦНС60-100		100		25,5		
ЦНС60-125		125		31,9		
ЦНС60-150		150		38,3		
ЦНС60-175		175		44,7		
ЦНС60-200		200		51,0		
ЦНС60-225		225		57,4		
ЦНС60-250		250		63,8		

Продолжение таблицы 2

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /час	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Мощность потребляемая насосом, кВт	КПД, %	Допускаемый кавитационный запас
ЦНС105-98	105	98	2950	45	64	6
ЦНС105-147		147		67		
ЦНС105-196		196		90		
ЦНС105-245		245		111		
ЦНС105-294		294		134		
ЦНС105-343		343		156		
ЦНС105-392		392		178		
ЦНС105-441		441		201		
ЦНС105-490		490		216		
ЦНС180-85	180	85	1475	59	70	6
ЦНС180-128		128		89		
ЦНС180-170		170		119		
ЦНС180-212		212		148		
ЦНС180-255		255		178		
ЦНС180-297		297		208		
ЦНС180-340		340		238		
ЦНС180-383		383		268		
ЦНС180-425		425		297		
ЦНС180-85	120	37	980	15	70	6
ЦНС180-128		56		23		
ЦНС180-170		75		31		
ЦНС180-212		93		37		
ЦНС180-255		112		45		
ЦНС180-297		131		53		
ЦНС180-340		150		61		
ЦНС180-383		168		69		
ЦНС180-425		187		76		
ЦНС180-500	180	500	2950	340	72	5
ЦНС180-600		600		408		
ЦНС180-700		700		477		
ЦНС180-800		800		545		
ЦНС180-900		900		613		
ЦНС300-650	300	650	2950	690	77	12
ЦНС300-780		780		828		
ЦНС300-910		910		966		
ЦНС300-1040		1040		1104		

Продолжение таблицы 2

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /час	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Мощность потребляемая насосом, кВт	КПД, %	Допускаемый кавитационный запас
ЦНС300-120	300	120	1475	140	70	6
ЦНС300-180		180		210		
ЦНС300-240		240		280		
ЦНС300-300		300		350		
ЦНС300-360		360		420		
ЦНС300-420		420		490		
ЦНС300-480		480		560		
ЦНС300-540		540		630		
ЦНС300-600		600		700		
ЦНС300-120	200	53	980	40	70	6
ЦНС300-180		79		60		
ЦНС300-240		105		80		
ЦНС300-300		132		100		
ЦНС300-360		158		120		
ЦНС300-420		185		140		
ЦНС300-480		211		160		
ЦНС300-540		238		180		
ЦНС300-600		264		200		
ЦНС500-160	500	160	1475	307	71	5
ЦНС500-240		240		461		
ЦНС500-320		320		614		
ЦНС500-400		400		767		
ЦНС500-480		480		921		
ЦНС500-560		560		1074		
ЦНС500-640		640		1228		
ЦНС500-720		720		1381		
ЦНС500-800		800		1534		
ЦНС500-880		880		1688		
ЦНС850-240	850	240	1500	772	72	5
ЦНС850-360		360		1157		
ЦНС850-480		480		1543		
ЦНС850-600		600		1929		
ЦНС850-720		720		2314		
ЦНС850-840		840		2700		
ЦНС850-960		960		3086		

## 2.2 Общее устройство и технические характеристики насоса ЦНС 500

Общее устройство и технические характеристики насосов типа ЦНС 500 рассмотрим на примере насоса ЦНС 500-640. (Приложение А Чертежи лист 1)

Основные технические данные:

Тип насоса – ЦНС 500-640;

Масса насоса, кг, не более – 4314;

Тип двигателя – ВАОУ 630М-4;

Мощность, кВт – 1600;

Масса агрегата, кг, не более – 12886;

Допускаемый кавитационный запас, м, не более – 3,0

Коэффициент полезного действия, КПД, %

Основные технические характеристики:

Подача, м<sup>3</sup>/с (м<sup>3</sup>/ч), - 0,139 (500);

Напор при максимальной подаче, м - 640;

Температура перекачиваемой воды, С° – от +5 до +40;

Частота вращения электродвигателя синхронная, об/мин – 1475;

Мощность, потребляемая насосом, кВт, – 1228;

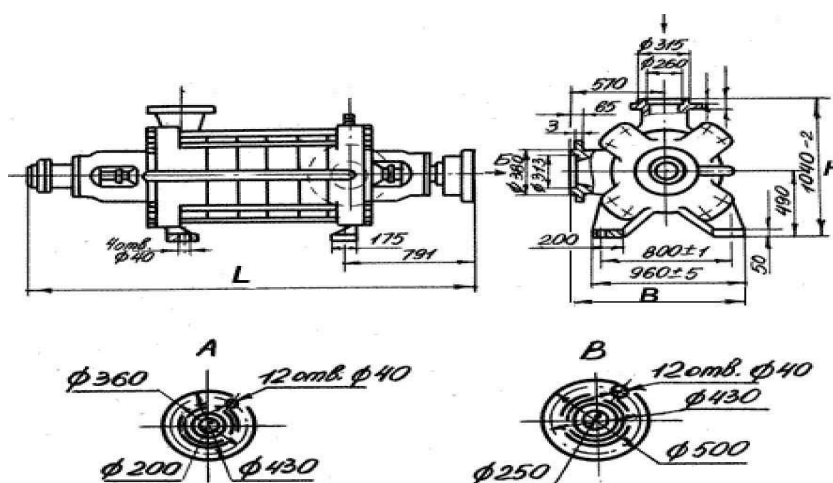


Рисунок 16 - Габариты насоса ЦНС 500-640

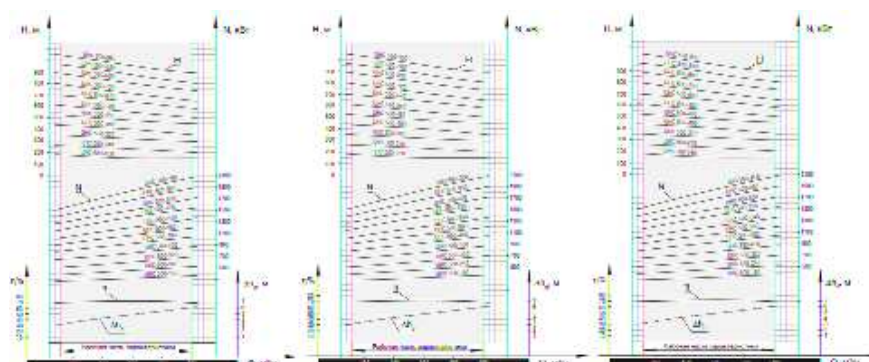


График 3 – Гидравлические характеристики насоса ЦНС 500-640

### Модификация насоса ЦНС 500-640

Модернизация многоступенчатого насоса ЦНС 500 - 640 будет идти на увеличении напора и КПД насоса, за счет оптимизации характеристик диффузорных каналов направляющих аппаратов рабочих ступеней насоса, обеспечивающих оптимальное снижение скорости рабочего потока на выходе из них.

## 2.3 Расчет рабочего колеса

Технические данные насоса нам известны: подача  $Q=500\text{м}^3/\text{ч}=0,139\text{м}^3/\text{с}$ , напор  $H=640\text{м}$ , частота вращения  $n=1475\text{об}/\text{мин}$ .

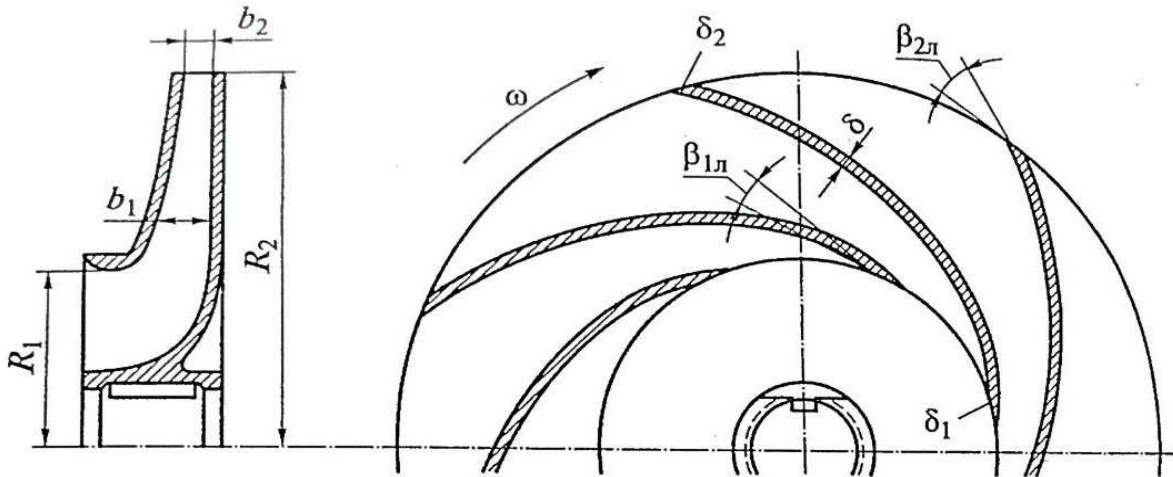


Рисунок 17 – Геометрия рабочего колеса

### 1. Коэффициент быстроходности:

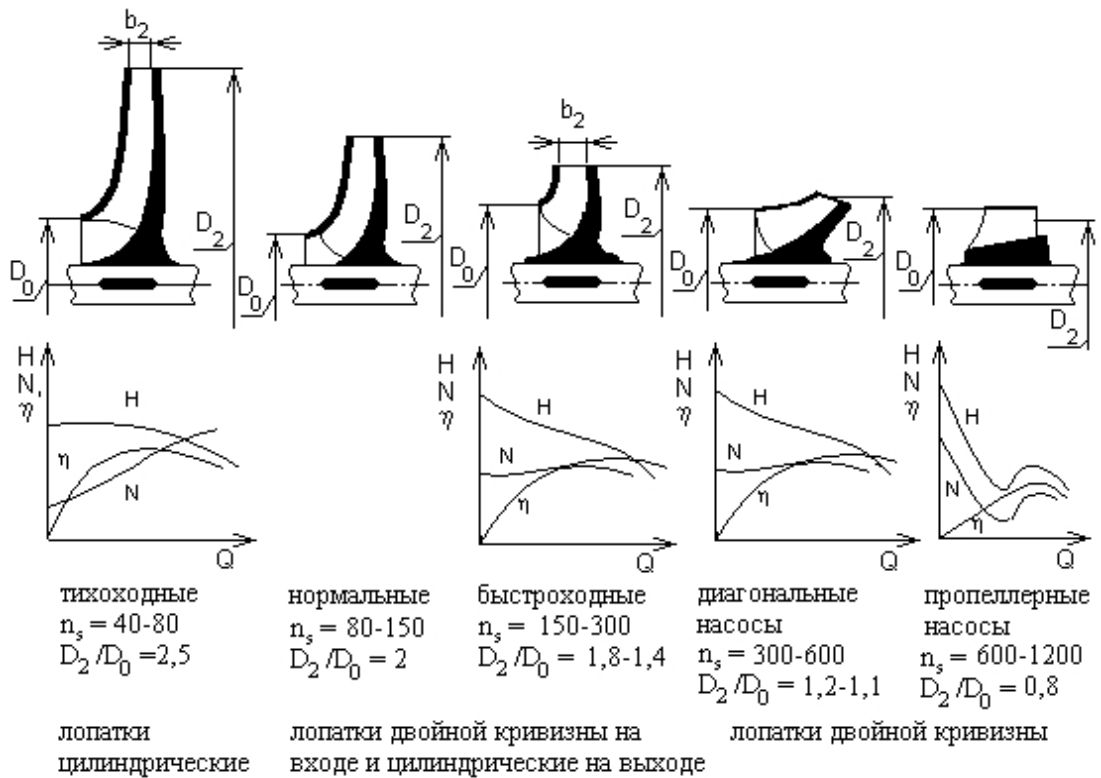


Рисунок 17 – Классификация рабочих колес

$$n_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}; \quad (1)$$

$$n_s = \frac{3,65 \cdot 1475 \cdot \sqrt{0,139}}{\left(\frac{640}{8}\right)^{\frac{3}{4}}} = 75,037 \quad (2)$$

2. Напор колеса:

$$H_1 = \frac{H}{i}, \quad (3)$$

где  $i$  – число ступеней в насосе(12).

$$H_1 = \frac{640}{8} = 80 \text{ м.}$$

Проверим обеспечение бескавитационной работы.

$$\sqrt{h} = 10 \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{C}; \quad (4)$$

Кавитационный коэффициент быстроходности  $C=800$ .

$$\sqrt{h} = 10 \frac{640 \cdot \sqrt{0,139}}{800} = 2,983 \text{ м.} \quad (5)$$

3. Определение полного КПД



Объемный КПД:

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + 0.68 * n_s^{-2/3}} = 0,964 \quad (6)$$

Расход жидкости в каналах рабочего колеса,  $м^3/с$

$$Q_k = \frac{Q}{\eta_{об}} \quad (7)$$

$$Q_k = \frac{0,139}{0,964} = 0,144 \text{ м}^3/с$$

Гидравлический КПД зависит от совершенства формы проточной части, качества поверхностей и размеров насоса.

Для насоса с высококачественной чистотой обработки поверхностей проточной части гидравлический КПД на расчетном режиме работы насоса вычисляют по формуле

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1,пр} - 0,172)^2}. \quad (8)$$

$$D_{1,пр} = (3,7 - 3,8) \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_1}{n}}, \quad (9)$$

$$D_{1,пр} = 4,2 \cdot 1000 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,139}{1475}} = 191 \text{ мм}$$

$$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg 191 - 0,172)^2} = 0,906$$

Определим полный КПД:

$$\eta = \eta_r \eta_{об} \eta_M \quad (10)$$

$$\eta_{M-мех} \text{ КПД} = 0,94.$$

$$\eta = 0,906 \cdot 0,94 \cdot 0,964 = 0,821$$

4. Определим мощность потребляемую эл. Дв.

$$N = \frac{Q \rho g H}{\eta} \quad (11)$$

$$\rho = 998 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$N = \frac{0,139 \cdot 998 \cdot 9,8 \cdot 640}{0,821} = 1061 \text{ кВт}.$$

5. Определим угловую скорость

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (12)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 1475}{30} = 154,5 \text{ с}^{-1}$$

6. Диаметр вала, м;

$$d_e = \sqrt[3]{N/n \cdot [\tau]} \quad (13)$$

где  $[\tau] = 80$  МПа - допустимое напряжение материала вала при кручении.

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{1061000}{24,6 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,081 \text{ м}$$

Диаметр вала  $d_b$  рассчитывают на прочность от кручения и изгиба, на жесткость с учетом действия поперечных сил и на вибрацию. Для жесткого вала критическая частота вращения должна быть на 20–25 % выше рабочей. Диаметр распорной втулки колеса многоступенчатого насоса  $d_{вт}$  зависит от диаметра вала  $d_b = 100$  мм. и в первом приближении.

7. Внешний диаметр втулки, м;

$$d_{em} = (1,20 \div 1,35)d_e \quad (14)$$

$$d_{em} = 1,20 \cdot 0,081 = 0,097 \text{ м}$$

8. Диаметр входа в колесо, м

$$D_0 = \sqrt{(4 \cdot Q_k / \pi \cdot C_0) + d_{em}^2} \quad (15)$$

где  $C_0$  - осевая скорость жидкости у входа в рабочее колесо, м/с;

$$C_0 = (0,9 \div 1,28) \cdot \sqrt[3]{Q_k \cdot n^2} \quad (16)$$

$$C_0 = 1,22 \cdot \sqrt[3]{0,144 \cdot 24,6^2} = 5,542 \text{ м/с}$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,144}{3,14 \cdot 5,477} + 0,081^2} = 0,202 \text{ м}$$

Основные рекомендации по выбору диаметра  $D_0=202$  мм входного отверстия колеса направлены на обеспечение величины скорости поступления потока в колесо  $V_0$ , ее значение влияет на входные элементы лопатки и на величину меридианной составляющей скорости во всем канале рабочего колеса.

9. Диаметр колеса у входной кромки лопасти, м

$$D_1 = (0,8 \div 0,9)D_0 \quad (17)$$

$$D_1 = 0,88 \cdot 0,202 = 0,178 \text{ м}$$

10. Ширину канала в меридианном сечении  $e_1$  находят из уравнения оплошности потока по значению скорости  $C_{т1}$  до стеснения лопастями, которая для колес с обычными кавитационными свойствами выбирается равной скорости  $C_0$  ( $C'_{т1} = C_0$ ):

$$e_1 = \frac{Q_k}{\pi \cdot D_1 \cdot C_{0m}} \quad (18)$$

где  $C_{0m} = C_0 = 5,542$  – скорость потока на входе у лопастей до стеснения или проходного сечения, м/с;

$$v_1 = \frac{0,144}{3,14 \cdot 0,178 \cdot 5,542} = 0,046 \text{ м}$$

## 11. Угол входной кромки лопасти

Расположение входных кромок лопастей принимают по аналогии с выполненными образцами колес параллельно оси или под углом  $15-30^\circ$  к оси насоса.

$$\beta_{1z} = \beta_1 - \delta \quad (19)$$

При проектировании насосов рассматриваемого типа допускают угол атаки  $\delta = 2-5^\circ$ :

$$\text{Угол атаки } \delta = 4,2^\circ$$

Угол  $\beta_1$  определяют по выражению

$$\operatorname{tg} \beta_1 = C_{1m} / u_1 \quad (20)$$

Приняв коэффициент стеснения на выходе  $k_1 = 1,1-1,25$ , определяют скорость на входе на лопатку:

$$C_{1m} = k_1 \cdot C_{0m} = 1,20 \cdot 5,542 = 6,65 \text{ м/с} \quad (21)$$

$$u_1 = \frac{\omega \cdot D_1}{2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 24,6 \cdot \frac{0,178}{2} = 13,75 \text{ м/с}$$

(22)

$$\operatorname{tg} \beta_1 = 6,65 / 13,75 = 0,484$$

$$\beta_1 = 25,8^\circ$$

$$\beta_{1,а} = 25,8^\circ + 4,2^\circ = 30^\circ$$

12. Средний внешний диаметр колеса  $D_2$  определяют последовательным вычислением теоретического напора, м;

$$H_m = H / \eta_z = 80 / 0,906 = 88,3 \text{ м}$$

(23)

По теоретической зависимости определяем переносную скорость на выходе:

$$u_2 = \sqrt{\frac{C_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2}} + \sqrt{\left(\frac{C_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2}\right)^2 + g H_m} \quad (24)$$

$$C_{2m} = (0,8 \dots 1,0) C_{0m} = 4,434$$

Энергетические качества насоса в значительной степени зависят от величины выходного угла  $\beta_2$  лопастей рабочих колес. Если на экономичность и

напорность насоса увеличение этого угла в некоторых пределах может оказать положительное влияние, то на форму напорной характеристики – отрицательное. Кроме того, с увеличением  $\beta_2$  уменьшается коэффициент рабочего колеса, а значит, возрастает скоростная составляющая в созданной им энергии. Целесообразнее большую часть напора в колесе получать в виде давления, так как в колесе процесс преобразования энергии более экономичен. Перечисленное указывает на сложность учета всех факторов при выборе  $\beta_2$ .

$$\sin \beta_2 = \sin \beta_{1л} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_{2m\infty}}{C_{1m}} \quad (25)$$

где  $\omega_1/\omega_2 = 1,2$ ;  $k_2 = 1,08$ - коэффициент стеснения на выходе

$$\beta_2 = 0,275 \text{ рад}$$

$$\beta_2 \approx 19.56^\circ$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{4,434}{2 \operatorname{tg} \beta_2}} + \sqrt{\left(\frac{4,434}{2 \operatorname{tg} \beta_2}\right)^2 + 9,8 \cdot 88,3} = 32,564 \text{ м/с}$$

$$D_2 = \frac{2 \cdot u_2}{\omega} = \frac{2 \cdot 32,564}{154} = 0,423 \text{ м} \quad (26)$$

### 13. Ширина канала рабочего колеса у выходной кромки лопатки

$$e_2 = Q_k / \pi \cdot D_2 \cdot C_{2m\infty} \quad (27)$$

$$v_2 = 0,144/3,14 \cdot 0,423 \cdot 4,434 = 0,024 \text{ м}$$

## 2.4 Расчет направляющего аппарата

1. Величина оптимального зазора между рабочим колесом и лопастями отвода определяется минимумом потерь в зазоре и требованием по выравниванию пульсаций скорости, вызываемой лопастями колеса:

$$D_3 = (1,02 \div 1,05) \cdot D_2 \quad (28)$$

$$D_3 = 1,05 \cdot 0,423 = 0,444 \text{ м}$$

2. Максимальная величина радиального зазора принимается 4-5 мм. Входная ширина  $b_3$  принимается несколько больше  $b_2$  из-за возможного смещения колеса относительно лопастного отвода

$$b_3 = b_2 + (2 \div 4) \quad (29)$$

$$b_3 = 0,029 + 0,003 = 0,032 \text{ м}$$

3. Радиальная и осевая составляющие скорости на входе в лопастной отвод равны:

$$c_{3m} = \frac{Q}{\pi D_3 b_3} \quad (30)$$

$$c_{3m} = \frac{0,144}{3,14 \cdot 0,444 \cdot 0,032} = 3,28 \text{ м/с}$$



$$c_{3u} = \frac{K_2}{D_3} \quad (31)$$

$$K_2 = \frac{g}{\eta_c} \cdot \frac{H}{\omega} \quad (32)$$

$$K_2 = \frac{9,81}{0,906} \cdot \frac{640}{154,5} = 44,853 \text{ м}^2/\text{с}$$

$$c_{3u} = \frac{44,853}{0,444} = 101,02 \text{ м/с}$$

#### 4. Угол потока на входе

$$\alpha_3 = \arctg \frac{c_{3m}}{c_{3u}} \quad (33)$$

$$\alpha_3 = \arctg \frac{3,28}{101,02} = 1,83^\circ$$

Обозначим через  $\psi_3$  - коэффициент стеснения потока лопастями отвода.

Тогда соответствующие значения

$$c'_{3m} = \frac{c_{3m}}{k_3} = \frac{3,28}{0,75} = 4,373 \text{ м/с} \quad (34)$$

$$\alpha'_3 = \arctg \frac{c_{3m}}{\psi_3 \cdot c_{3u}} = \arctg \frac{3,28}{0,75 \cdot 101,02} = 2,46^\circ \quad (35)$$

5. Размер спирального участка вычисляется по формуле:

$$\frac{r'_3}{r_3} = e^{\frac{2\pi}{z} \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha'_3} \quad (36)$$

Отсюда получаем

$$r'_3 = r_3 \cdot e^{\frac{2\pi}{z} \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha'_3} \quad (37)$$

$$r'_3 = 0,222 \cdot 2,718^{\frac{2 \cdot 3,14}{8} \cdot 1,05 \cdot \operatorname{tg} 2,46^\circ} = 0,23 \text{ м}$$

6. Находим диаметральный размер направляющего аппарата:

$$\frac{D_4}{D_3} = 1,3 \div 1,5 \quad (38)$$

$$D_4 = 1,3 \cdot 0,444 = 0,577 \text{ м}$$

7. Отношение площадей сечения входа и выхода проходных каналов берем за стандартные для тихоходных рабочих колес.

Соотношение площадей насоса лежит в диапазоне 0,62...0,82. Но реализованное соотношение в данном направляющем аппарате на практике снижает КПД насоса, так как не в полной мере обеспечивает перевод кинетической энергии в потенциальную.

На основе патента RU №117532 и авторского свидетельства СССР №479399, изменяем соотношение площадей проходных сечений входа и выхода из диффузорных каналов направляющего аппарата:

$$\frac{a}{b} = 0,5 \div 0,56 \quad (39)$$

Для оптимального направления потока из рабочего колеса в диффузорные каналы направляющего аппарата необходимо выбрать  $\gamma$  угол между осью симметрии проходных каналов и радиусом направляющего аппарата.

Направление потока диффузорных каналов зависит от угла потока из рабочего колеса.

$$\gamma = 90^\circ - \alpha_3 = 90 - 2,46 = 87,54^\circ \quad (40)$$

Выбор правильного направления диффузорных каналов уменьшает гидравлические потери, так как зависимость угла  $\gamma$  от угла  $\alpha_3$  потока из рабочего колеса, делает угол атаки оптимальным, что положительно сказывается на уменьшение скорости потока в момент выхода перекачиваемой жидкости из диффузорных каналов.

На основании всех расчетов строим чертеж рабочего колеса и направляющего аппарата. (Приложение А, лист 2)

8. Составим график зависимости относительных значений КПД от отношения площади сечения на входе к площади сечения на выходе из диффузорных каналов:

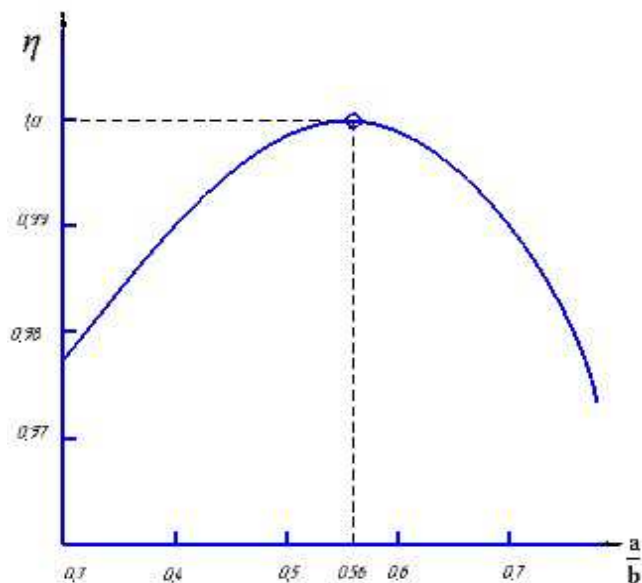


График 4 – График зависимости относительных величин КПД от соотношения площадей сечения диффузорных каналов

Из графика мы можем видеть, что диапазон соотношения площадей проходных сечений  $0,5 \dots 0,56$  обеспечивает минимальные потери в КПД.

На промежутке где соотношение площадей уменьшается ( $a/b < 0,5$ ), происходит снижение КПД насоса из-за увеличения площади выходного сечения, что влияет на увеличение потерей на трение по длине всего направляющего аппарата.

Если же данное соотношение увеличить ( $a/b > 0,56$ ), уменьшится площадь выходного сечения по сравнению с площадью входного. Исходя из графика мы видим, что КПД понижается, так как кинетическая энергия в полном объеме не может быть преобразована в потенциальную.

Таким образом данный диапазон площадей проходных сечений на вход и выход из диффузорных каналов направляющего аппарата оптимален для тихоходных и нормальных рабочих колес с быстроходностью лежащей в промежутке  $70 \dots 150$ , позволяет уменьшить гидравлические потери и увеличить КПД многоступенчатого секционного насоса.

## Заключение

В данной выпускной квалификационной работе я рассмотрел устройство, принцип работы, центробежного секционного насоса типа ЦНС на примере секционного центробежного насоса ЦНС 500-640.

Изучив структуру многоступенчатого секционного центробежного насоса, рассмотрев его достоинства: компактность и простота конструкций; простота соединения с электродвигателем и другими силовыми установками; простота пуска и регулирования; плавность работы; надежность, долговечность в работе и возможность применения для перекачки любых жидкостей – и недостатки: низкий КПД насосов; сложность отливки рабочего колеса. Проведя патентно-информационный поиск, на наличие решений главных недостатков насоса, решил провести изменения размеров площадей проходных сечений на входе и выходе из диффузорных каналов направляющего аппарата центробежного насоса.

При нахождении оптимального диапазона соотношения площадей проходных сечений и выборе направления потока на выходе из диффузорных каналов, можно уменьшить гидравлические потери и увеличить КПД насоса.

Таким образом модификация многоступенчатого секционного центробежного насоса была выполнена, путем изменения соотношения площадей сечения диффузорных каналов до оптимального диапазона.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухаленко Е.И. Справочник по нефтепромысловому оборудованию.– М.:Недра, 1983. - 399 с.
2. Насосы центробежные погружные и агрегаты на их основе: Руководство по эксплуатации. – М.: ГМС Насосы, 2011. – 49 с.
3. Патент 40083 РФ, МПК F04D1/06 Насос для поддержания пластового давления./ Гусев Анатолий Григорьевич., заявитель и патентообладатель Гусев Анатолий Григорьевич. - № 2004111740/22; заяв. 19.04.2004; опуб. 28.08.2004, Бюл.№24. – 3 с.
4. Патент 117532 РФ, МПК F04D1/06. Центробежный многоступенчатый секционный насос/ Соколов Рудольф Николаевич, Леонова Ольга Николаевна.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "ГМС Насосы" (ОАО "ГМС Насосы"). - № 2011141381/06; заяв. 12.10.2011; опуб. 27.06.2012, Бюл. № 18
5. Патент 125275 РФ, МПК F04D1/06 Ступень статора центробежного многоступенчатого насоса/ Дашутин Григорий Петрович, Кирик Григорий Васильевич, Диденко Сергей Иванович Гордеев, Владимир Николаевич, Шеин Андрей Юрьевич, Резвых Виталий Викторович, заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Международный институт компрессорного и энергетического машиностроения (ООО "МИКЭМ")). - № 2012131831/06; заяв. 24.07.2012; опуб. 27.07.2012, Бюл.№6.– 7 с.
6. Патент 116920 РФ, МПК F04D1/06. Многоступенчатый центробежный насос с предвключенным (бустерным) устройством./ Елин Александр Валерьевич, Елин Валерий Константинович, Давиденко Андрей Константинович.; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное

общество "Сумский завод насосного и энергетического машиностроения "Насосэнергомаш" (АО "Сумский завод "Насосэнергомаш"). - № 2011144409/06; заяв. 03.11.2011; опуб. 10.06.2012, Бюл. № 16 – 7 с.

7. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования: Учеб. пособие для вузов / Л.Г. Чичеров, Г.В. Молчанов, А.М. Рабинович и др. – М.: Недра, 1987. - 422 с.

8. Насос ЦНС – конструкция, основные типы, характеристики :: SYL.ru [Электронный ресурс]. URL: [https://www.syl.ru/article/222852/new\\_nasos-tsns-konstruktsiya-osnovnyie-tipyi-harakteristiki](https://www.syl.ru/article/222852/new_nasos-tsns-konstruktsiya-osnovnyie-tipyi-harakteristiki) (дата обращения:07.05.2017).

9. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. 2-е изд., перераб. и доп. – М.–Л.: Машиностроение, 1966. – 364 с.

10. Бухаленко А.И., Абдуллаев Ю.Г. Монтаж, обслуживание и ремонт нефтепромыслового оборудования. – М: Недра, 1985. – 391с.

11. Иванов, В. Г. Гидромашины и компрессоры: Учеб. пособие. / В. Г. Иванов. Красноярск: КГТУ, 2003. 164 с.

12. Нефтепромысловое оборудование: Справочник/Под ред. И.Бухаленко. 2-е изд., перераб. и доп. - М., Недра, 1990.

13. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. - М.: Машиностроение, 1972. - 320 с.

14. Беззубов А.В. Насосы для добычи нефти. Справочник рабочего. - М: Недра, 1986. - 224 г.

15. Елин В.М. и др. Насосы и компрессоры /Елин В.И., Солдатов К.Н., Соколовский С.М. - 2-е изд., перераб. и доп. - М: Гостоптехиздат, 1960. - 398 с.

16. Копырин М.А. Гидравлика и гидравлические машины. - М.: Высшая школа, 1961. - 302 с.

17. Осипов П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и и гидропривод: Уч. Пособие. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Лесная промышленность. 1981. - 424 с.

18. Угинчус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. - М.Л: Государственное энергетическое издательство, 1953. - 359 с.



## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

### **Чертежи**

1. Сборочный чертеж ЦНС 500-640 (формат А1)
2. Рабочее колесо и направляющий аппарат (формат А3)


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

Институт нефти и газа  
институт

Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Э.А. Петровский  
подпись — инициалы, фамилия

« 06 » июн 2017 г

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**


21.03.01 Нефтегазовое дело

код – наименование направления

«Модификация центробежного секционного насоса ЦНС 500»

тема

Руководитель

  
подпись, дата

К. Т. Н., доцент  
должность, ученая степень

В.С. Тынченко  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

А.А. Бейшис  
инициалы, фамилия

Красноярск 2017