

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**МАШИНОСТРОЕНИЯ**  
(институт)

Кафедра «Управление промышленной и экологической безопасностью»

20.04.01 «Техносферная безопасность»

---

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Экологическая безопасность процессов и производств  
(направленность (профиль))

---

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему Исследование процесса образования загрязняющих веществ в атмосфере и повышение эффективности газопылеулавливающих установок

Студент

А.Н. Китаев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Л.Н. Горина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Нормоконтроль

С.В. Грачева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Руководитель магистерской программы**

д.п.н., профессор Л.Н. Горина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.п.н., профессор Л.Н. Горина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 90 страниц, 15 рисунков, 4 таблицы, 44 источников.

**ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, ГАЗОПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИЕ УСТАНОВКИ, КОНТРОЛЬ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ.**

Объектом исследования является повышение эффективности газопылеулавливающих установок на ООО «Тольяттинский Трансформатор».

Цель работы – повышение эффективности газопылеулавливающих установок.

В результате исследования выявлены недостатки существующей системы очистки отводимых газов.

Степень внедрения – запланировано усовершенствование системы очистки атмосферного воздуха

Результатом данной работы станет снижение выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и как следствие снижение выплат за превышение предельно допустимых выбросов.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ                                                       | 4  |
| 1. Глава 1. Требования предъявляемые к газоочистным установкам | 6  |
| 2. Глава 2. Загрязняющие вещества выбрасываемые в атмосферу    | 10 |
| 3. Глава 3. Оборудование используемое для очистки выбросов     | 12 |
| 4. Глава 4. Матерчатые фильтры. Вторая ступень очистки газов   | 19 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ                                                     | 87 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ                               | 88 |

## ВВЕДЕНИЕ

Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных. В условиях развития промышленного производства человечество столкнулось с проблемой резкого роста негативных воздействий на окружающую среду и безопасность человека. Примерный относительный состав вредных веществ в атмосфере больших городов: оксид углерода – 45%; оксид серы – 18%; углеводороды – 15%; пыль – 12%; оксиды азота – 10%. Превышение концентраций токсичных веществ в загрязненном атмосферном воздухе над фоновыми в среднем составляет: по оксиду углерода 80 – 1250 раз и более; по диоксиду серы – 300 раз; по диоксиду азота – до 25 раз; по озону – до 7 раз. В настоящее время насчитывается более 500 вредных веществ, загрязняющих атмосферу, их количество все увеличивается, что требует действенных мер по очистке атмосферного воздуха. В промышленности принимают различные меры, направленные одновременно на уменьшение загрязнения внутренней (в цехе) и наружной воздушной среды:

- Замена применяемых токсичных веществ нетоксичными или малотоксичными;
- Использование выбросов для других технологических процессов и производств;
- Герметизация аппаратуры и коммуникаций;
- Проведение технологических процессов в вакууме с тем, чтобы при непредвиденном или запланированном открывании аппаратов вредные вещества не загрязняли воздух.

В случаях, когда технологический процесс нельзя герметизировать или вести в вакууме, в местах концентрированного выделения вредных веществ устанавливают устройства местной вытяжной вентиляции дополнительно к общеобменной.

В соответствии с Российским Законодательством все предприятия, имеющие потенциальную возможность выброса в атмосферу различных загрязняющих веществ, обязаны измерять их объемы, контролировать концентрацию и учитывать источники выделения, а также обязаны:

- обеспечить проведение инвентаризации выбросов вредных(загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и разработку предельно допустимых выбросов ПДВ;

- внедрять малоотходные и безотходные технологии в целях снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха;

- планировать и осуществлять мероприятия по улавливанию, утилизации, обезвреживанию выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, сокращению или исключению таких выбросов;

- осуществлять мероприятия по предупреждению и устранению аварийных выбросов вредных(загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, а также ликвидации последствий его загрязнения;

- соблюдать правила эксплуатации сооружений, оборудования, предназначенных для очистки и контроля выбросов;

- обеспечить соблюдение режима санитарно-защитных зон объектов хозяйственной и иной деятельности, оказывающих вредное воздействие на атмосферный воздух;

- обеспечить своевременный вывоз загрязняющих атмосферный воздух отходов на специализированные места складирования и захоронения таких отходов;

- немедленно передавать информацию об аварийных выбросах, вызвавших загрязнение атмосферного воздуха.

В случае если количество выбросов превышает допустимые значения, применяются меры для их уменьшения. Методы снижения уровня загрязняющих атмосферу веществ различные. Самый доступный, распространенный и известный – это очистка выбросов, отводимых в атмосферу с помощью газоочистных установок.

## 1 Требования предъявляемые к газоочистным установкам

Газоочистной установкой называется сооружение, предназначенное для улавливания из отходящих газов или вентиляционного воздуха содержащихся в них вредных примесей с целью предотвращения загрязнения атмосферы и состоящее из одного или нескольких газоочистных аппаратов, вспомогательного оборудования и коммуникаций.

Газоочистным аппаратом называется элемент газоочистной установки, в котором осуществляется определенный избирательный процесс улавливания твердых, жидких или газообразных вредных веществ, содержащихся в отходящих газах или вентиляционном воздухе.

Газоочистные аппараты по методам очистки подразделяются на шесть групп:

Первая группа - аппараты сухой инерционной очистки газов от пыли (пылеосадительные камеры, жалюзийные и инерционные пылеуловители, циклоны одиночные, групповые и батарейные, дымососы-пылеуловители и др.).

Вторая группа - аппараты мокрой очистки газов от пыли, а в отдельных случаях от жидких и газообразных примесей (полые и насадочные скрубберы, барботажные и пенные аппараты, турбулентные газопромыватели, аппараты эжекционного и центробежного действия).

Третья группа - аппараты для очистки газов от пыли (в отдельных случаях - от тумана) методом фильтрации (тканевые, зернистые и волокнистые фильтры и др.).

Четвертая группа - аппараты электрической очистки газов от пыли и тумана (электрофильтры мокрые и сухие различных типов).

Пятая группа - аппараты химических методов очистки газов от газообразных примесей (адсорберы, абсорберы и т.п.).

Шестая группа - аппараты термической и термокаталитической очистки газов от газообразных примесей (печи сжигания, каталитические реакторы и др.).

Газоочистные установки, предназначенные для охраны атмосферного воздуха от загрязнения, называются санитарными и, как правило, устанавливаются в конце технологического процесса.

Газоочистные установки, предназначенные для очистки газов от примесей, мешающих проведению определенной стадии технологического цикла производственного процесса и размещенные между соответствующими ступенями этого цикла, называются технологическими газоочистными установками. Газоочистные установки, предназначенные для технологических целей, но выброс газов после которых отводится в атмосферу, одновременно являются санитарными газоочистными установками.

Газоочистные установки должны работать надежно, бесперебойно и с показателями, соответствующими паспортным.

Эксплуатационный режим и оптимальные показатели работы для каждой газоочистной установки определяются паспортом ГОУ и инструкцией по эксплуатации и обслуживанию, разработанной применительно к конкретному технологическому процессу и оборудованию определенного подразделения предприятия, требований документации завода-изготовителя (паспортов и инструкций по эксплуатации), а также рекомендаций проектной и пусконаладочной организаций.

В процессе эксплуатации ГОУ должны учитываться характерные особенности очищаемых газов, загрязняющих веществ и создаваться условия для обеспечения безопасной, надежной и эффективной работы установок, в том числе:

- при эксплуатации ГОУ, предназначенных для очистки газов с высоким содержанием горючих (взрывоопасных) компонентов, необходимо тщательно контролировать и обеспечивать поддержание установленных параметров давления газа и герметичности сооружений (оборудования); осуществлять

периодическую продувку коммуникаций и аппаратов во избежание взрыва и пожара; неукоснительно соблюдать требования правил безопасной работы с горючими и взрывоопасными веществами;

- при эксплуатации установок, предназначенных для очистки газов с высоким содержанием токсичных примесей, необходимо обеспечивать и контролировать герметичность всех элементов технологического оборудования и оборудования очистки газа; строго соблюдать требования инструкций и правил работы с этими веществами, использовать при работе с установками газозащитные средства;

- при эксплуатации установок, предназначенных для очистки газа от химически агрессивных или абразивных компонентов, необходимо систематически контролировать целостность защитных покрытий, отсутствие разрушений конструкций и оборудования, предупреждая тем самым преждевременный выход оборудования газоочистной установки из строя.

Для обеспечения постоянного контроля за техническим состоянием газоочистных установок администрация предприятия организывает и обеспечивает своевременное проведение проверок исправности и эффективности работы оборудования установок. Проверки исправности и эффективности работы ГОУ осуществляются путем проведения периодических проверок технического состояния оборудования и инструментального контроля за параметрами работы установки и ее элементов и степенью очистки газа в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Периодические проверки технического состояния оборудования ГОУ должны проводиться:

- перед включением установки в работу и в процессе работы оборудования установки визуальным осмотром и по показаниям контрольно-измерительных приборов;

- при проведении технического обслуживания оборудования ГОУ;

- перед проведением инструментального контроля за показателями работы оборудования установки;



- перед проведением ремонтов оборудования установки с оформлением ведомости дефектов;

- перед проведением работ по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Проверка технического состояния газоочистных установок представителями органов, осуществляющих государственный экологический контроль, проводится совместно с представителями администрации предприятия и лицами, ответственными за эксплуатацию данной установки.

Ежегодно каждая ГОУ подлежит проверке эффективности работы с использованием средств инструментального контроля.

Кроме этого, проверки с использованием средств инструментального контроля проводятся при изменении режима работы технологического оборудования; замене сырья, топлива или полуфабрикатов производства; при вводе в эксплуатацию (наладочных работах) вновь сооруженных или реконструированных установок; при проведении капитальных ремонтов ГОУ, а также ремонтов, связанных с заменой основных элементов оборудования установки (аппарата, вентилятора, электродвигателей, насосов и т.п.).

Перед проведением проверки ГОУ с использованием средств инструментального контроля в обязательном порядке должны быть выполнены операции технического обслуживания или ремонта.

Проверка с использованием средств инструментального контроля должна проводиться силами санитарно-промышленной лаборатории предприятия или сторонней организации, прошедшими процедуру установки соответствия условий выполнения измерений требованиям Российского законодательства в области обеспечения единства измерений. Результаты проверки должны оформляться актом, прилагаемым к паспорту ГОУ.

При эксплуатации ГОУ запрещается:

- использовать технологическое (производственное) оборудование при неисправных или отключенных ГОУ, в том числе с применением обводных

газоходов, исключаящих оборудование установки из процесса улавливания и обезвреживания выбрасываемых загрязняющих веществ;

- допускать увеличение производительности технологических агрегатов, сопровождающееся изменением объема отходящих газов или концентрации в нем загрязняющих веществ, без одновременного наращивания мощности действующих ГОУ;

- проводить какие-либо операции на работающей установке без разрешения лиц, ответственных за организацию ее эксплуатации;

- вносить изменения в конструкцию аппаратов или технологию работы ГОУ без согласования с проектной организацией и заводом-изготовителем;

- разукomплектовывать, демонтировать узлы и элементы ГОУ, контрольно-измерительные приборы, вспомогательное оборудование и средства обеспечения безопасности.

## 2 Загрязняющие вещества выбрасываемые в атмосферу

Основная производственная деятельность предприятия – производство трансформаторов. Основным источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является цех № 5 (заготовительно-сварочный). На заготовительном участке механической обработки производится штамповка, гибка, резка и правка заготовок. На участке сварки металлоконструкций применяется ручная дуговая, механизированная сварка в среде защитных газов, стыковая и линейная электросварка. При осуществлении сварки в атмосферный воздух выделяются оксид железа, соединения марганца, пыль неорганическая с содержанием диоксида кремния 20-70%, диоксид азота, фтористый водород.

Таблица 1 – Перечень загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу.

| Вещество |              | Критерии качества атмосферного воздуха |         |      |                 | Выброс вещества |       |
|----------|--------------|----------------------------------------|---------|------|-----------------|-----------------|-------|
| Код      | Наименование | ПДК м.р.                               | ПДК с.с | ОБУВ | Класс опасности | г/с             | т/год |

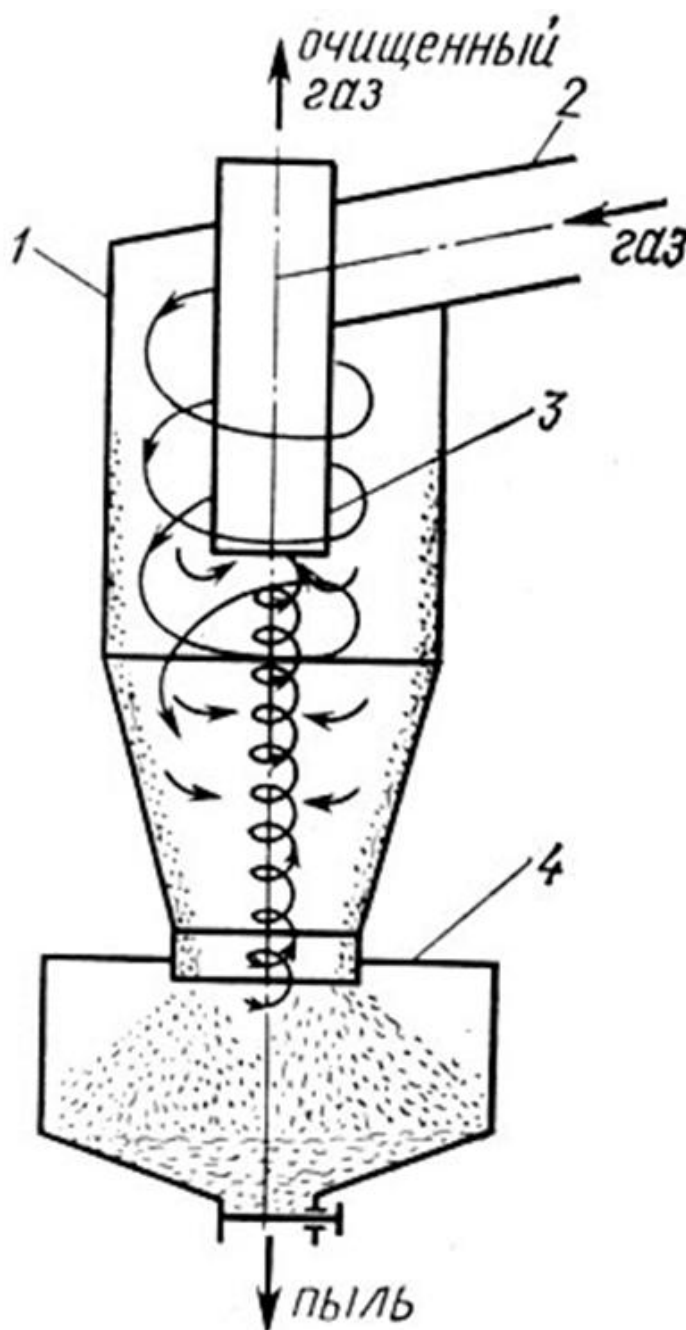
Продолжение таблицы 1

|      |                                                                                |        |        |        |   |        |         |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|---|--------|---------|
| 123  | Оксид<br>железа                                                                | 0.0000 | 0.0400 | 0.0000 | 3 | 2.3315 | 47.4092 |
| 143  | Марганец и<br>его<br>соединения                                                | 0.0100 | 0.0010 | 0.0000 | 2 | 0.0070 | 0.2347  |
| 301  | Диоксид<br>азота                                                               | 0.2000 | 0.0400 | 0.0000 | 2 | 0.5269 | 41.7430 |
| 342  | Фтористый<br>водород                                                           | 0.0200 | 0.0050 | 0.0000 | 2 | 0.0003 | 0.0088  |
| 2908 | Пыль<br>неоргани-<br>ческая с<br>содержанием<br>диоксида<br>кремния 20-<br>70% | 0.3000 | 0.1000 | 0.0000 | 3 | 0.0009 | 0.0249  |

### 3 Оборудование используемое для очистки выбросов

Основное очистное оборудование представлено циклонами и пылеулавливающими установками, рассмотрим принцип действие циклонов (рисунок 1). Газовый поток вводится в циклон через патрубок 2 по касательной к внутренней поверхности корпуса 1 и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру 4. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенке циклона пылевой слой, который вместе с частью газа попадает в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит за счет поворота газового потока в бункере на 180°.

Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит из бункера, давая начало вихрю газа, покидающему циклон через выходную трубу 3. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера. Если бункер негерметичен, то за счет подсоса наружного воздуха происходит вынос пыли с потоком через выходную трубу.



1 – корпус, 2 – патрубок, 3 – выходная труба, 4 – бункер.

Рисунок 1 – Циклон

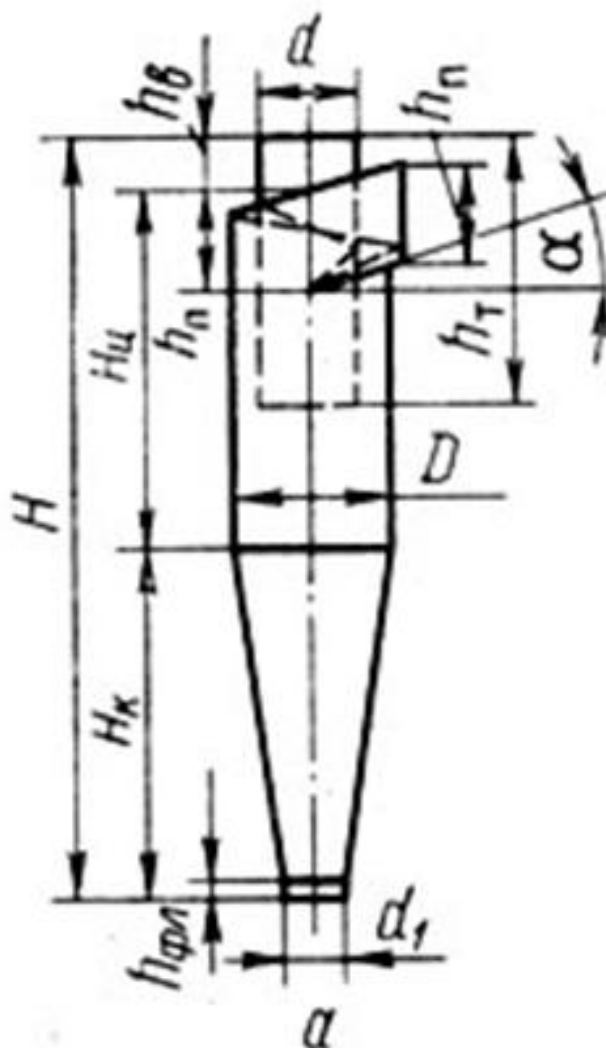


Рисунок 2 – Цилиндрический циклон

Цилиндрические циклоны предназначены для улавливания сухой пыли аспирационных систем, пыли из сушилок и т. п. при начальной запыленности от 0,3 до 4000 г/м<sup>3</sup>. Избыточное давление газов, поступающих в циклоны, не должно превышать 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30-50° С выше точки росы, а по условиям

прочности конструкции - не выше 400° С. Производительность циклона зависит от его диаметра, увеличиваясь с ростом диаметра. Эффективнее циклоны работают на пылях с размером частиц более 20 мкм. Эффективность очистки циклона серии падает с ростом угла входа в циклон.

Таблица 2 – Основное очистное оборудование

| Номер<br>Источн<br>ика | Наименование и тип<br>пылегазоулавливаю<br>щего оборудования | КПД<br>аппаратов(%)<br>фактический | Код<br>загрязняющего<br>вещества, по<br>которому<br>происходит<br>очистка | Коэффицие<br>нт<br>обеспеченн<br>ости (%) |                     |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|
|                        |                                                              |                                    |                                                                           | норм<br>атив<br>ный                       | факт<br>ичес<br>кий |
| 0031                   | Циклон СИОТ 3                                                | 50                                 | 123                                                                       | 100                                       | 80                  |
|                        |                                                              | 50                                 | 143                                                                       | 100                                       | 80                  |
| 0032                   | Циклон Ц-5                                                   | 50                                 | 123                                                                       | 100                                       | 80                  |
|                        |                                                              | 50                                 | 143                                                                       | 100                                       | 80                  |

Таблица 3 – Основные технические показатели

| №<br>п/п | Наименование<br>аппарата | Технические<br>параметры                          | Параметры | Допустимые<br>отклонения |
|----------|--------------------------|---------------------------------------------------|-----------|--------------------------|
| 1        | Ц-5                      | Производительность<br>(по воздуху)<br>Тыс. м3/час | 15.0      | нет                      |
|          |                          | Гидравлическое<br>сопротивление, Па               | -         | -                        |
|          |                          | Степень очистки газа,<br>%                        | 50        | нет                      |

Продолжение таблицы 3

|   |         |                                                   |     |     |
|---|---------|---------------------------------------------------|-----|-----|
| 2 | СИОТ -3 | Производительность<br>(по воздуху)<br>Тыс. м3/час | 4,5 | нет |
|   |         | Гидравлическое<br>сопротивление, Па               | -   | -   |
|   |         | Степень очистки газа,<br>%                        | 65  | нет |

Основная производственная деятельность предприятия – производство трансформаторов. Одним из основных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу является цех № 5 (заготовительно-сварочный). На заготовительном участке механической обработки производится штамповка, гибка, резка и правка заготовок. На участке сварки металлоконструкций применяется ручная дуговая, механизированная сварка в среде защитных газов, стыковая и линейная электросварка. При осуществлении сварки в атмосферный воздух выделяются оксид железа, соединения марганца, пыль неорганическая с содержанием диоксида кремния 20-70%, диоксид азота, фтористый водород.

Таблица 4 – Перечень загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу

| Вещество |                         | Критерии качества атмосферного воздуха |         |        |                 | Выброс вещества |         |
|----------|-------------------------|----------------------------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|---------|
| Код      | Наименование            | ПДК м.р.                               | ПДК с.с | ОБУВ   | Класс опасности | г/с             | т/год   |
| 123      | Оксид железа            | 0.0000                                 | 0.0400  | 0.0000 | 3               | 2.3315          | 47.4092 |
| 143      | Марганец его соединения | 0.0100                                 | 0.0010  | 0.0000 | 2               | 0.0070          | 0.2347  |

Продолжение таблицы 4

|      |                                                           |        |        |        |   |        |         |
|------|-----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|---|--------|---------|
| 301  | Диоксид азота                                             | 0.2000 | 0.0400 | 0.0000 | 2 | 0.5269 | 41.7430 |
| 342  | Фтористый водород                                         | 0.0200 | 0.0050 | 0.0000 | 2 | 0.0003 | 0.0088  |
| 2908 | Пыль неорганическая с содержанием диоксида кремния 20-70% | 0.3000 | 0.1000 | 0.0000 | 3 | 0.0009 | 0.0249  |

Для оценки эффективности работы газоочистной установки должны определяться следующие параметры:

- количество газа на входе и выходе из установки;
- количественный и качественный состав вредных веществ на входе и выходе из установки;
- гидравлическое сопротивление всей газопылеулавливающей установки и отдельных ее аппаратов;
- температура газа на входе и выходе из установки;
- степень очистки газа установкой в целом и каждым аппаратом в отдельности;
- другие специфические показатели, характерные для определенных типов газоочистного оборудования.

Все измеренные показатели должны сравниваться с проектными данными, а также с результатами предыдущих испытаний.



#### 4 Матерчатые фильтры. Вторая ступень очистки газов

Уменьшить массовую долю загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух можно выполнить путем установки дополнительных сухих матерчатых фильтров на имеющиеся установки циклонов.

Эффективность очистки от пыли повышают путем последовательной установки пылеуловителей разного типа, сначала для улавливания грубой фракции пыли устанавливают циклон, а за ним матерчатый фильтр, таким образом, матерчатые фильтры относятся ко второй ступени очистки (очистка от пыли с размерами частиц менее 5 мкм) и применяются после очистки газов в циклонах. Действие этих фильтров основано на том, что между волокнами фильтрующего материала пыль задерживается. Коэффициент очистки газов от высокодисперсной пыли доходит до 99%. Различают матерчатые фильтры рамного или рукавного типов. В рамных фильтрах материя натягивается на рамки, и газовый поток, содержащий пыль, проходит через фильтрующую ткань. Более совершенны по конструкции и более надежны в работе фильтры рукавного типа. Газ, подлежащий очистке, пропускают через ткань, сшитую в виде рукава, один конец которого открыт (для входа газов), а другой - закрыт. Проведены значительные исследования эффективности очистки различных типов тканей. Тяжелый нетканый или фетровый материал более эффективен, чем тканый, так как пустоты или поры в фетровой ткани меньше. Эффективность очистки с помощью любой ткани можно повысить использованием волокон меньшего диаметра, большой массой волокна на единицу поверхности ткани и более плотным плетением. По мере того как фильтрующий эффект ткани повышается этими способами, способность к ее очистке и проницаемость уменьшаются. Высокоэффективная, но плохо очищающаяся ткань представляет избыточное сопротивление воздушному потоку. Об эффективности ткани как фильтрующей массы имеет смысл говорить только в том случае, если берут новую ткань и впервые используют в работе. После определенного времени эксплуатации выделенные частицы

пыли, застрявшие в ткани, улучшают работу фильтра, повышая эффективность очистки. В зависимости от числа частиц и времени между очисткой рукавов может получиться так, что фактически вся фильтрация воздуха осуществляется ранее выделенными частицами или слежавшейся пылью, а не самой тканью. Наиболее распространены матерчатые фильтры, в которых помещена система матерчатых рукавов и электрический вибратор для встряхивания фильтра во время его очистки от пыли. Загрязненный газ поступает в бункер через отверстие, а очищенный - выходит через камеру и патрубок. Для очистки фильтра пневмоцилиндром открывают отверстие, закрытое резиновым клапаном, и подают через него воздух с одновременным включением вибратора. Пыль ссыпается в бункер. Производительность матерчатых фильтров 10-40 тысяч м<sup>3</sup>/ч; диаметр рукавов 0,2-0,25 м, длина до 3 м; число рукавов 24-120. Материал рукавов выдерживает температуру до 250° С. Для оценки фильтра используют отношение общего количества воздуха, подлежащего очистке в фильтре, к общей поверхности ткани фильтра (м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>). Выбирая размер матерчатых фильтров, преследуют цель обеспечить достаточную фильтрующую поверхность, чтобы работа фильтра проходила без излишнего падения давления. Величина фильтрующей поверхности зависит от многих факторов, включая тип ткани и отделку поверхности, способность отделения пыли, порозность слоя пыли, концентрацию пыли в транспортирующем потоке воздуха, вид очистки и интервал очистки, распределение воздушного потока внутри коллектора, температуру и влажность воздушного потока. Используют следующие величины отношения количества воздуха к площади фильтрующей поверхности:

3:1 — для систем с встряхивающими механизмами;

4:1 — для систем очистки воздуха от пыли с продувкой рукавов обратным током воздуха.

Более высокие величины этого показателя могут быть использованы в небольших фильтрах. Однако недостатками последних являются менее

эффективное выделение пыли, более короткий срок службы рукавов, потеря давления в фильтре и более высокие затраты энергии.

Матерчатые фильтры бывают периодического и непрерывного действия. Фильтры периодического действия нельзя очищать в процессе их работы; приходится прекращать доступ воздуха во время очистки ткани для освобождения от накопившегося слоя пыли. Эти типы фильтров можно использовать с фильтрующими элементами в виде рукавов или плоских элементов из тканого материала, и обычно они требуют встряхивания или вибрации для очистки.

В фильтрах с рукавами запыленный воздух входит в открытую нижнюю часть рукава, при этом большая часть пыли остается на его внутренней поверхности. Открытые нижние части рукавов крепят к раме, а закрытые верхние части соединяют со встряхивающим механизмом. Пыль, стряхнутая с рукавов, оседает в бункере, расположенном под ними. Так как воздушный поток направляется с внутренней поверхности к наружной, то рукав надувается в процессе эксплуатации и практически не нуждается в опорной раме. При использовании плоских элементов воздушный поток направлен от наружной поверхности к внутренней. Опорой для фильтрующего элемента служит установленная внутри него проволочная сетка или проволочный каркас. Имеется много недостатков, присущих фильтрам периодического действия: они требуют значительной площади для установки, а воздушный поток следует периодически отключать для удаления пыли. По мере накопления пыли на ткани возрастает сопротивление воздушному потоку, и его подача уменьшается, пока не остановится вентилятор и не будут очищены рукава.

Во всех матерчатых фильтрах непрерывного действия пыль собирается на наружной поверхности, и поток воздуха проходит с наружной поверхности рукавов или плоских элементов к внутренней. Фильтрующую среду очищают пульсирующей струей чистого воздуха, подаваемого через отверстие с насадкой в виде трубки Вентури. При обычной эксплуатации рукав или элемент стремятся к изменению формы и требуется опорная сетка. Введение

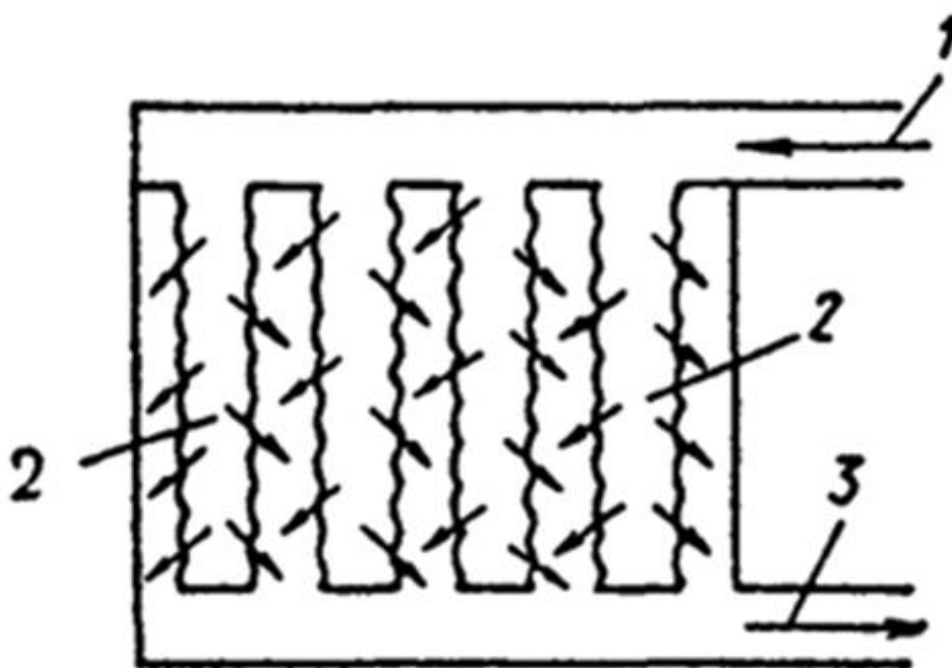
кратковременного потока воздуха высокого давления создает вторичный поток из секции очищенного воздуха в направлении, обратном основному потоку. Очистка осуществляется этим импульсом воздуха высокого давления, быстро надувающим и сдувающим рукав, вызывая его отрыв от опорного каркаса, разрушая слой пыли и отделяя эту пыль от ткани.

Весь процесс проходит приблизительно в течение одной секунды. Соленоидные клапаны, которые контролируют подачу сжатого воздуха, могут быть открыты только в течение доли секунды.

Интервалы очистки регулируются, и очистка бывает значительно более частая, чем при использовании фильтров со встряхивающими механизмами. Благодаря этому очень короткому циклу очистки возможны более высокие скорости фильтрации на фильтрах с обратной продувкой. Однако на всех фильтрах с обратной продувкой ткань находится в секции загрязненного воздуха, и при очистке накопившаяся пыль, которая отделяется с одной поверхности ткани, может снова увлекаться воздухом и оседать на соседней или той же фильтрующей поверхности. Повторное оседание пыли изменяется в зависимости от конструкции фильтра и особенно от схемы распределения потока воздуха в секции неочищенного воздуха. Решение этой проблемы состоит в уменьшении скорости выходящего потока путем снижения нагрузки на фильтрующую поверхность.

Благодаря повышению эффективности очистки до 99 % этот тип фильтра стал преобладающим в борьбе с выделением пыли в окружающую среду. Однако системы с матерчатыми фильтрами более сложны и требуют значительно больше внимания при эксплуатации и профилактическом обслуживании, чем простой циклон.

Схема действия матерчатого фильтра представлена на рисунке 3



1 – загрязненный поток (газопылевая смесь); 2 – рукава из ворсистой ткани; 3 – очищенный поток.

Рисунок 3 – Схема действия матерчатого фильтра

Предлагается внедрить устройства, относящиеся к области очистки воздуха от загрязнений. Устройство для очистки воздуха содержит воздуховод, в одной из стенок которого прорезаны щели, в которые вставлены направляющие с помещенными в них с возможностью перемещения кассетами с фильтрами для различных загрязняющих газов. Перед фильтрами в потоке очищаемого воздуха установлены датчики состава воздуха, соединенные с газоанализатором, который соединен с коммутатором. Кассеты механически соединены с механизмами их перемещения, которые соединены с коммутатором. На торцах воздуховода установлены фланцы. Изобретение обеспечивает снижение трудоемкости и повышение качества очистки воздуха за счет возможности автоматически устанавливать в воздуховоде фильтры, предназначенные для очистки воздуха именно от тех загрязняющих компонентов, которые в данный момент имеются в очищаемом воздухе в недопустимых количествах.

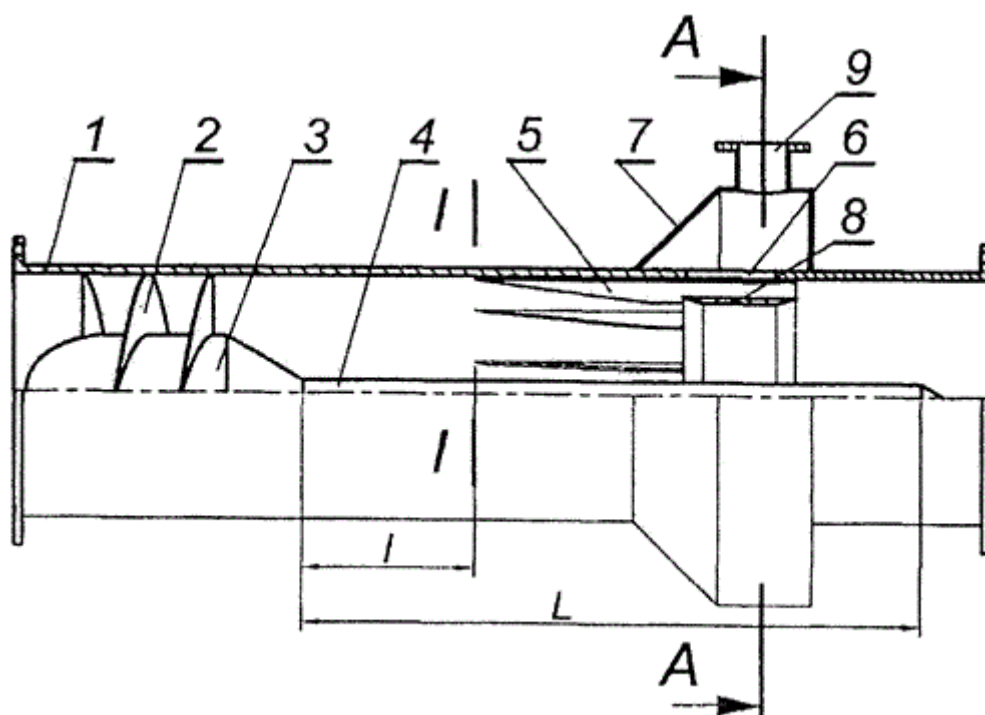
Сущность предлагаемого устройства для очистки воздуха заключается в том, что оно содержит воздуховод, в который последовательно друг за другом вставлены кассеты с фильтрами, предназначенными для различных загрязняющих газов. В отличие от прототипа перед фильтрами в потоке очищаемого воздуха установлены датчики состава воздуха, соединенные с газоанализатором, который соединен с коммутатором. В одной из стенок воздуховода прорезаны щели, в которые вставлены направляющие с помещенными в них с возможностью перемещения кассетами, содержащими фильтры. Направляющие закреплены на стенках воздуховода. Кассеты механически соединены с механизмами их перемещения, которые соединены с коммутатором. На торцах воздуховода установлены фланцы.

Конструкция предлагаемого устройства позволяет автоматически устанавливать в воздуховоде фильтры, предназначенные для очистки воздуха именно от тех загрязняющих компонентов, которые в данный момент имеются в очищаемом воздухе в недопустимых количествах. Остальные кассеты с фильтрами для возможных, но в данный момент отсутствующих в очищаемом воздухе загрязнений из воздуховода автоматически удаляются. Это обеспечивает повышение качества очистки воздуха и, уменьшая сопротивление воздуховода за счет удаления из него лишних в данный момент фильтров, повышает производительность очистки.

Группа изобретений относится к технике разделения газовых смесей на компоненты и может быть использована в угольной промышленности при подготовке капируемой шахтной метановоздушной смеси для ее утилизации в когенерационных установках. Способ извлечения отдельных компонентов из газовой смеси включает в себя закручивание потока в завихрителе, разделение закрученного потока в прямоточной вихревой трубе на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и извлечение компонентов через регулируемые отводы разделенных потоков. Закручивание потока проводится с ускорением движения потока до скорости, тангенциальная составляющая

которой превышает минимальную окружную скорость полного закручивания газовой смеси данного состава и физических параметров ее состояния на величину, достаточную для возникновения разделения на периферийный и центральный потоки. Разделение закрученного потока на периферийный и центральный потоки происходит в кольцевом канале, в котором осевая зона освобождена от потока и на выходе из которого компоненты одного из потоков частично извлекаются при частичном торможении вращения этого потока и отделении зоны отбора компонентов от закрученного потока. Устройство для извлечения тяжелых компонентов из газовой смеси включает в себя завихритель потока газовой смеси, прямоточную вихревую трубу и отборник тяжелых компонентов газовой смеси из периферийного потока в виде кольцевой камеры-коллектора, соединенной через продольные щели в корпусе вихревой трубы с внутренней свободной полостью трубы. Завихритель состоит из многозаходного шнека с центральным телом, которое при закручивании сжимает и ускоряет газовый поток смеси, за центральным телом для протекания закрученного потока сформирован кольцевой канал с помощью установленной коаксиально с ним цилиндрической штанги. При этом на выходе из кольцевого канала установлен отборник тяжелых компонентов смеси из периферийного потока, перед которым для торможения вращения периферийного потока установлены продольные ребра с высотой, которая увеличивается с течением потока, а продольные щели в корпусе вихревой трубы окружены цилиндрической коаксиальной с корпусом вихревой трубы обечайкой, которая отделяет зону отбора тяжелых компонентов от закрученного потока. Устройство для извлечения легких компонентов из газовой смеси включает в себя завихритель потока газовой смеси, прямоточную вихревую трубу и отборник легких компонентов газовой смеси из центрального потока в виде патрубка с кольцевым зазором. Завихритель состоит из многозаходного шнека с центральным телом, которое при закручивании сжимает и ускоряет газовый поток смеси, а за центральным телом для протекания закрученного потока сформирован кольцевой канал с помощью

установленной коаксиально с ним цилиндрической штанги. При этом на выходе из кольцевого канала установлен с зазором относительно цилиндрической штанги и коаксиально с ней патрубок отбора легких компонентов из центрального потока, перед которым для торможения вращения центрального потока установлены продольные ребра с высотой, которая увеличивается с течением потока, а кольцевой зазор окружен цилиндрической коаксиальной с корпусом вихревой трубы обечайкой, которая отделяет зону отбора легких компонентов от закрученного потока. Техническим результатом является повышение эффективности разделения компонентов в прямоточных вихревых трубах при сохранении высокой продуктивности, в частности, для обогащения метаном шахтной метановоздушной смеси до кондиций, пригодных для утилизации в когенерационных газопоршневых установках и получения высококачественной электрической и тепловой энергии при значительном снижении выбросов парниковых газов в атмосферу. 3 н.п. ф-лы, 5 ил.



Взаимосвязанная группа изобретений относится к технике разделения газовых смесей на компоненты и может быть использована в угольной промышленности при подготовке капируемой шахтной метановоздушной смеси для ее утилизации в когенерационных установках.



Известный способ извлечения отдельных компонентов из газовой смеси [1], который включает в себя закручивание потока газовой смеси в завихрителе и разделение закрученного потока в противоточной вихревой трубе на два потока: центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, причем последний поток дополнительно сепарируется с отделением наиболее тяжелых примесей (диоксида углерода и твердых частичек пыли) и средневзвешенных компонентов (азот, очищенный воздух).

Недостатком известного способа является низкая продуктивность, которая ограничивается техническими возможностями противоточной вихревой трубы и сложностью процесса разделения потоков за счет введения дополнительного сепарирования периферийного потока. Это значительно ограничивает область промышленного использования способа.

Известный способ извлечения отдельных компонентов из газовой смеси [2], который включает в себя закручивание газовой смеси открытым вращающимся шнеком и разделение закрученного потока в шнеке на два: центральный, с преобладанием в нем легких компонентов - в основном метана, и периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, при этом центральный поток в зоне, прилегающей к оси шнека, с содержанием легкой компоненты 80--90% отсасывается, сжимается и направляется в камеру сгорания газовой турбины, а оставшая часть центрального потока с содержанием легкой компоненты до 5% направляется непосредственно на вход этой же газовой турбины.

Недостатком способа является его низкая продуктивность и экономическая нецелесообразность: для получения утилизированной энергии необходимо, наряду с извлеченным небольшим количеством легкой компоненты газовой смеси - метана, сжигать дорогое авиационное топливо как основное топливо турбины.

Также известен, выбранный как прототип, способ извлечения отдельных компонентов газовой смеси [3], который включает закручивание потока газовой смеси в завихрителе, разделение закрученного потока в прямоточной вихревой трубе на центральный и периферийный потоки, для извлечения разных компонентов через регулируемые отводы разделенных потоков, при этом при значении тангенциальной составляющей скорости закрученного потока, близком к какой-то критической величине, тяжелые компоненты смеси преобладают в центральном потоке, а при значении этой составляющей скорости больше какой-то критической величины тяжелые компоненты смеси преобладают в периферийном потоке.

Недостатком способа является низкая эффективность разделения компонентов из-за наличия в предложенной прямоточной вихревой трубе нестационарного осевого вихревого шнура, который турбулентизирует поток и уменьшает эффект разделения компонентов. Кроме того, указанный способ предусматривает нестабильный режим работы при значении тангенциальной составляющей скорости закручивания, близком к какой-то критической величине, когда разделение потока практически отсутствует. Под критической скоростью в описании этого способа понимается минимальная окружная скорость полного закручивания газовой смеси, при которой обеспечивается вращение в периферийной зоне потока наиболее тяжелых по молекулярной массе компонентов газовой смеси.

Известно устройство для извлечения отдельных компонентов из газовой смеси [1], которое состоит из завихрителя в виде пассивной газовой турбины, оснащенной для своей работы компрессором и соединенной с конусной противоточной вихревой трубой, где происходит разделение закрученного потока газовой смеси на два: центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов. После разделения легкие компоненты, которые состоят в основном из метана, через пустотелый вал турбины подаются на утилизацию, а периферийный поток с тяжелыми фракциями дополнительно сепарируется на узком конце

вихревой трубы. Узкий конец вихревой трубы оснащен кольцевой камерой-коллектором, которая соединена через продольные щели в корпусе вихревой трубы с внутренней полостью трубы, благодаря чему в камеру-коллектор попадает часть тяжелых компонентов, включая взвешенную пыль. Более легкие компоненты, состоящие из очищенного воздуха и азота вместе с парами воды выпускаются в атмосферу.

Недостатком известного устройства является низкая энергетическая эффективность из-за значительных затрат энергии на сжатие смеси для работы турбины, преобладающая часть которой после расширения в трубе выбрасывается в атмосферу, а также низкая его производительность, которая определяется техническими возможностями противоточной вихревой трубы. Эти недостатки существенно ограничивают промышленное использование устройства, поэтому их используют только на автомобилях для обработки небольших объемов выхлопных газов.

Известны устройства, которые выбраны как прототипы, для извлечения отдельных компонентов из газовой смеси, которые включают в себя завихритель потока газовой смеси, прямооточную вихревую трубу, в которой происходит разделение закрученного потока газовой смеси на два потока, центральный и периферийный, и отборники компонентов смеси в закрученных центральном и периферийном потоках, при этом:

- в вихревой трубе установлен по крайней мере еще один завихритель потока, что обеспечивает дозакручивание потока, и расстояние между завихрителями может регулироваться [3];

- отборник компонентов центрального потока состоит из двух коаксиальных частей с образованием регулируемого кольцевого зазора между ними, через который осуществляется отбор [4];

- корпус вихревой трубы состоит из двух коаксиальных частей с образованием регулируемого кольцевого зазора между ними, который окружен кольцевой камерой-коллектором с патрубком отбора компонентов периферийного потока [5].

Недостатком этих устройств является чрезмерная конструктивная сложность, которая ставит под сомнение их работоспособность, неэффективность разделения газовой смеси на компоненты в предложенной конструкции прямоточной вихревой трубы из-за наличия нестационарного осевого вихревого шнура, который турбулентизирует поток и уменьшает эффект разделения компонентов.

В основу первого из группы изобретений положена задача усовершенствования способа извлечения отдельных компонентов из газовой смеси, что обеспечивает повышение эффективности разделения компонентов в прямоточных вихревых трубах при сохранении их высокой продуктивности и экономической целесообразности использования за счет устранения возможного появления общих и локальных источников турбулентизации потока газовой смеси в трубе.

В основу второго из группы изобретений положена задача усовершенствования устройства для извлечения отдельных компонентов из газовой смеси путем замены конструкции прямоточной вихревой трубы и отборников компонентов смеси в закрученных центральном и периферийном потоках, что позволит ликвидировать общую турбулентизацию закрученного потока и локальную турбулентизацию в зонах отбора и тем самым увеличить эффективность извлечения отдельных компонентов из газовой смеси в прямоточной вихревой трубе при сохранении ее конструктивной простоты и высокой продуктивности.

Первая поставленная задача решается таким образом, что в способе извлечения отдельных компонентов из газовой смеси, который включает закручивание потока в завихрителе, разделение закрученного потока в прямоточной вихревой трубе на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и извлечение компонентов через регулируемые отводы разделенных потоков, согласно изобретению закручивание потока проводится с ускорением движения потока до скорости, тангенциальная составляющая

которой превышает минимальную окружную скорость полного закручивания газовой смеси данного состава и физических параметров ее состояния на величину, достаточную для разделения смеси на периферийный и центральный потоки, а само разделение закрученного потока на периферийный и центральный потоки происходит в кольцевом канале, в котором осевая зона освобождена от потока и на выходе из которого компоненты одного из потоков частично извлекаются при частичном торможении вращения этого потока и отделения зоны отбора компонентов от закрученного потока.

Вторая поставленная задача решается таким образом, что в устройстве для извлечения тяжелых компонентов из газовой смеси, которое включает в себя завихритель потока газовой смеси, прямоточную вихревую трубу, где происходит разделение закрученного потока газовой смеси на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и отборник тяжелых компонентов газовой смеси из периферийного потока в виде кольцевой камеры-коллектора, соединенной через продольные щели в корпусе вихревой трубы с внутренней полостью трубы, согласно изобретению завихритель состоит из многозаходного шнека с центральным телом, которое при закручивании сжимает и ускоряет движение газового потока смеси, а за центральным телом для протекания закрученного потока сформирован кольцевой канал с помощью установленной коаксиально с ним цилиндрической штанги, при этом на выходе из кольцевого канала установлен отборник тяжелых компонентов смеси из периферийного потока, перед которым для торможения вращения периферийного потока установлены продольные ребра с высотой, которая увеличивается с течением потока, а продольные щели в корпусе вихревой трубы окружены цилиндрической коаксиальной с корпусом вихревой трубы обечайкой, которая отделяет зону отбора тяжелых компонентов от закрученного потока, а также тем, что в устройстве для извлечения легких компонентов из газовой смеси, которое включает в себя завихритель потока газовой смеси, прямоточную вихревую трубу, где происходит разделение закрученного потока газовой смеси

на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и отборник легких компонентов газовой смеси из центрального потока в виде патрубка с кольцевым зазором, согласно изобретению завихритель состоит из многозаходного шнека с центральным телом, которое при закручивании сжимает и ускоряет движение газового потока смеси, а за центральным телом для протекания закрученного потока сформирован кольцевой канал с помощью установленной коаксиально с ним цилиндрической штанги, при этом на выходе из кольцевого канала установлен, с зазором относительно цилиндрической штанги и коаксиально с ней, патрубок отбора легкой компоненты с центрального потока, перед которым для торможения вращения центрального потока установлены продольные ребра с высотой, которая увеличивается с течением потока, а кольцевой зазор окружен цилиндрической коаксиальной с корпусом вихревой трубы обечайкой, которая отделяет зону отбора легких компонентов от закрученного потока.

Сравнительный анализ заявленной конструкции с наиболее близкими прототипами показывает, что она обеспечивает аэродинамические условия течения потока газовой смеси в прямоточной вихревой трубе, которые уменьшают турбулентизацию его течения как вдоль всей трубы (устранение из области течения потока зоны возникновения нестационарного осевого вихревого шнура), так и в зоне отбора компонентов газовой смеси отделением этой зоны от закрученного потока.

Суть изобретения и схема его использования поясняются чертежами, где изображены

- на фиг.1 - заявленное устройство для извлечения тяжелых компонентов газовой смеси из периферийного потока, продольный разрез;
- на фиг.2 - разрез А-А фиг.1;
- на фиг.3 - заявленное устройство для извлечения легких компонентов газовой смеси из центрального потока, продольный разрез;
- на фиг.4 - разрез Б-Б фиг.4;

- на фиг.5 - схема подготовки шахтной метановоздушной смеси к ее утилизации в когенерационных установках с применением заявленных устройств.

Заявленный способ реализуется таким образом.

Поток газовой смеси, содержащий компоненты с разной молекулярной массой, закручивают с ускорением его течения в завихрителе, на выходе из которого тангенциальная составляющая скорости на периферии закрученного потока превышает минимальную скорость полного закручивания газовой смеси определенного состава и физических параметров состояния на величину, достаточную для возникновения разделения потока на два: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов. Для уменьшения влияния турбулентных пульсаций от осевого шнура, которые являются главным препятствием для эффективного протекания процесса разделения потока, закрученный поток направляется в кольцевую камеру, в которой приосевая зона свободна от потока, а ее длина превышает расстояние до сечения, в котором газовый поток в свободном вращательном вихревом движении располагается кольцевыми слоями с разным содержанием компонентов в порядке увеличения их содержания в направлении от оси вращения вихревого потока до периферии. После этого сечения начинается частичное торможение вращения потока и отбор компонентов заторможенного потока.

Наиболее целесообразно для реализации приведенного способа применение описанных ниже устройств.

Показанное на фиг.1 и 2 устройство для извлечения из газовой смеси тяжелых компонентов включает в себя корпус 1, завихритель в виде многозаходного шнека 2 с центральным телом 3, к которому коаксиально присоединена цилиндрическая штанга 4, которая вместе с внутренней поверхностью корпуса 1 вихревой трубы образует кольцевой канал длиной  $L$ . Начиная с разреза I-I, который находится на расстоянии  $l$  в пределах кольцевого канала ( $l < L$ ), на корпусе трубы 1 установлены продольные ребра 5 с

высотой, которая увеличивается с течением потока, и отборник тяжелых компонентов в составе продольных щелей 6, кольцевой камеры-коллектора 7 и выходного патрубка 9. Продольные щели 6 в корпусе вихревой трубы окружены цилиндрической обечайкой 8, которая установлена коаксиально с корпусом вихревой трубы 1 и которая отделяет зону отбора тяжелых компонентов от свободного пространства кольцевой камеры.

Показанное на фиг.3 и 4 устройство для извлечения из газовой смеси легких компонентов включает в себя корпус 1, завихритель в виде многозаходного шнека 2 с центральным телом 3, к которому коаксиально присоединена цилиндрическая штанга 4, которая вместе с внутренней поверхностью корпуса 1 образует кольцевой канал длиной  $L$ . Начиная с разреза I-I, который находится на расстоянии  $l$  в пределах кольцевого канала ( $l < L$ ), установлены на цилиндрической штанге 4 продольные ребра 5 с высотой, которая увеличивается с течением потока, и отборник легких компонентов, состоящий из патрубка 10, установленного с зазором 11 коаксиально с цилиндрической штангой 4, и выходного патрубка 9. Кольцевой зазор 11 окружен цилиндрической обечайкой 12, установленной коаксиально с корпусом вихревой трубы 1 и которая отделяет зону отбора легких компонентов от свободного пространства кольцевой камеры.

Работа предложенных устройств показана на примере подготовки капируемой шахтной метановоздушной смеси (МВС) для утилизации в когенерационных газопоршневых установках.

Для стабильного и экономически целесообразного производства тепло- и электроэнергии в когенерационных газопоршневых установках необходимы МВС с концентрацией метана в пределах 35... 40% при влажности не более 80% и в небольших количествах форкамерный газ с горючей составляющей не менее 85... 90% для розжига МВС в поршнях, в то время как в капируемой шахтной МВС содержание метана составляет 20... 25%, а влажность после прохождения через вакуум-насосные станции достигает 100%.



Для того чтобы стать пригодной для использования в когенерационных газопоршневых установках капируемая шахтная МВС должна пройти газоподготовку в составе технологических операций обезвоживания в рамках первичной подготовки и обогащения метаном. Для осуществления последней операции могут найти применение предложенные устройства для извлечения из газовой смеси тяжелых и легких компонентов (см. фиг.5).

После первичной подготовки 13 МВС под давлением подается на устройство для извлечения из газовой смеси тяжелых компонентов 14, заявленное в п.2 формулы изобретения (фиг.1), в котором газовая смесь, проходя через завихритель в виде многозаходного шнека 2 с центральным телом 3 закручивается и ускоряется таким образом, чтобы на выходе из завихрителя тангенциальная составляющая скорости на периферии закрученного потока превышала минимальную окружную скорость полного закручивания газовой смеси заданного состава и физических параметров состояния на величину, достаточную для возникновения при торможении вращательного движения, процесса замещения легких компонентов газовой смеси тяжелыми в направлении к периферии потока. Этот процесс заканчивается в некотором сечении I-I (фиг.1) в середине кольцевого канала, образованного внутренней поверхностью корпуса 1 и наружной поверхностью цилиндрической штанги 4. После этого сечения газовая смесь во вращательном движении располагается кольцевыми слоями с разным содержанием компонентов в порядке увеличения их содержания в каждом последующем слое в направлении от оси вращения вихревого потока и, как следствие, формируются два вышеуказанных потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов.

Так как осевая зона освобождена от потока в канале, нестационарный осевой вихревой шнур в потоке не возникает, турбулентизация потока снижается и, соответственно, повышается качество разделения потока компонентов.

После сечения I-I для улучшения аэродинамических условий отбора начинается частичное торможение вращения периферийного потока ребрами 5, и отбор заторможенного потока тяжелых компонентов - составляющих воздуха - из потока МВС через продольные щели 6 в кольцевую камеру-коллектор 7. Для предотвращения турбулентизации и нарушения расслоения периферийного потока продольные щели в корпусе вихревой трубы окружены цилиндрической обечайкой 8, которая отделяет заторможенную вращающуюся часть периферийного потока от закрученного. Отобранный воздух выбрасывается в атмосферу, а концентрация метана в МВС повышается. Процесс отбора и выброса воздуха, а также увеличение концентрации метана регулируются вентилями 20, 21, 22 и 23 с помощью системы автоматизированного управления, в состав которой входят газоанализаторы (не показана).

Обогащенная до 35... 40% концентрации метана МВС накапливается в буферной емкости (ресивере) 15, откуда через вентиль 23 подается на сжигание в когенерационную установку 19. Из ресивера 15 небольшая часть обогащенной метаном МВС также отсасывается компрессором 16 и подается под давлением на устройство для извлечения из газовой смеси 17 легких компонентов, заявленное в п.3 формулы изобретения (см. фиг.3), в котором после сечения I-I для улучшения аэродинамических условий отбора начинается частичное торможение вращения центрального потока ребрами 5 и отбор затормаживаемого потока легких компонентов смеси - в основном метана - через кольцевой зазор 11. Для предотвращения турбулентизации и нарушения расслоения центрального потока кольцевой зазор 11 окружен цилиндрической обечайкой 12, которая отделяет заторможенную от вращения часть центрального потока от закрученного.

Отобранный метан с концентрацией до 85... 90% накапливается в ресивере 18 для использования его в качестве форкамерного газа при работе когенерационных газопоршневых установок. Процесс работы устройства для извлечения из газовой смеси легких компонентов 15 регулируется вентилями

24, 25, 26 и 27 с помощью системы автоматизированного управления, в состав которой входят газоанализаторы (не показана).

Таким образом, применение заявленного способа и устройства для обогащения метаном шахтной МВС позволит довести ее до кондиций, пригодных для утилизации в когенерационных газопоршневых установках и получения рентабельной высококачественной электрической и тепловой энергии при значительном снижении выбросов парниковых газов в атмосферу.

#### Источники информации

Заявка США № 2007/0231233, МІЖ C07C 11/24. Methane gas recovery and usage system for coalmines, municipal landfills and oil refinery distillation tower vent stacks. Опубликовано 4.10.2007.

Патент РФ № 2096626, МПК<sup>6</sup> E21F 7/00. Способ утилизации шахтной метановоздушной смеси и устройство для его осуществления. Опубликовано 20.11.1997.

Патент РФ № 2081355, МПК<sup>6</sup> F04F 5/00, F25B 9/02. Способ разделения сред с неоднородным полем плотностью и с разной молекулярной массой компонентов и вихревое устройство для его осуществления. Опубликовано: 10.06.1997.

Патент РФ № 2107196, МПК<sup>6</sup> F04F 5/00, F25B 9/04. Вихревая установка для выделения горючей составляющей из воздуха. Опубликовано: 20.03.1998.

Патент РФ № 2107197, МПК<sup>6</sup> F04F 5/00, F25B 9/04. Вихревая установка для выделения горючей составляющей из воздуха. Опубликовано: 20.03.1998.

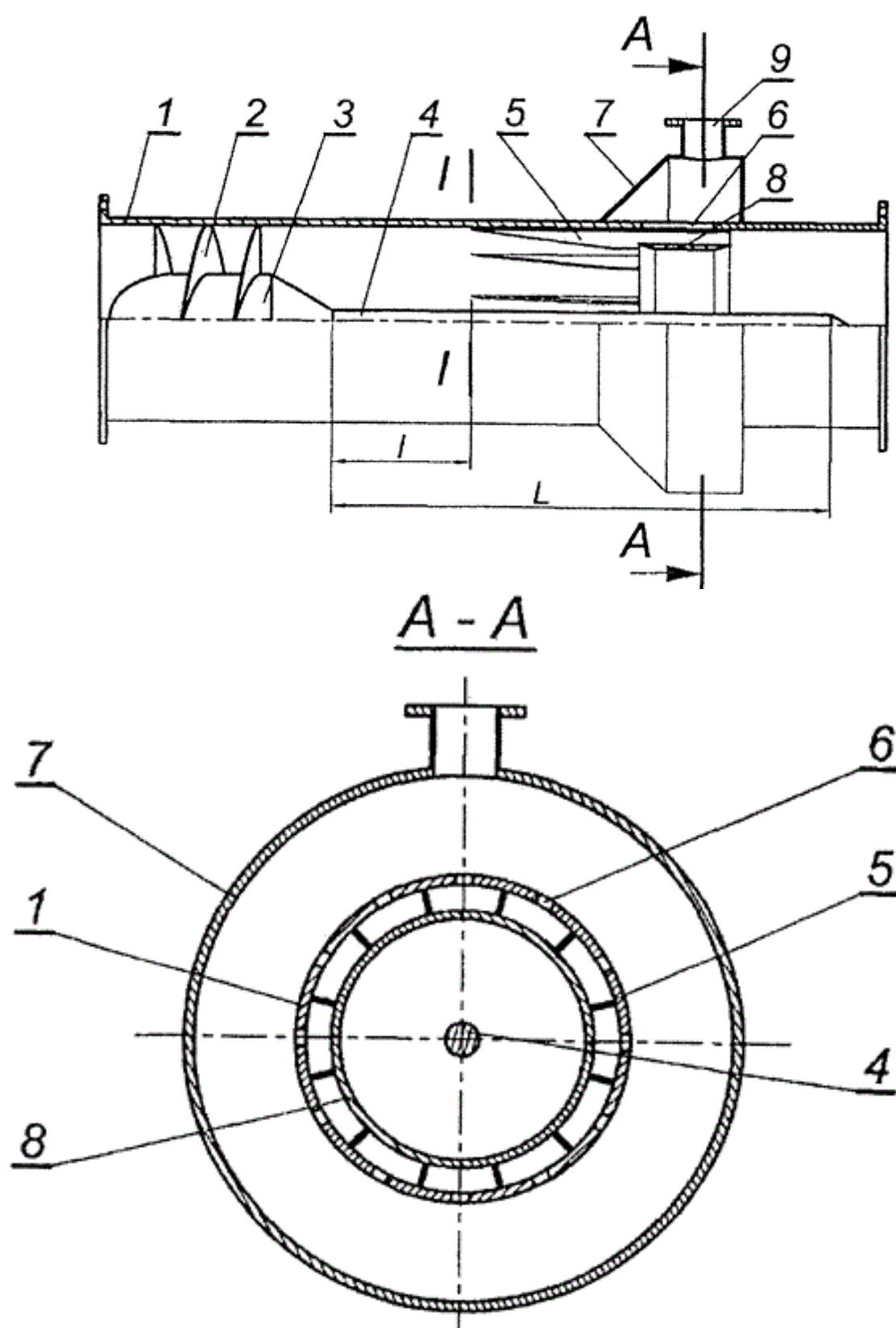
#### Формула изобретения

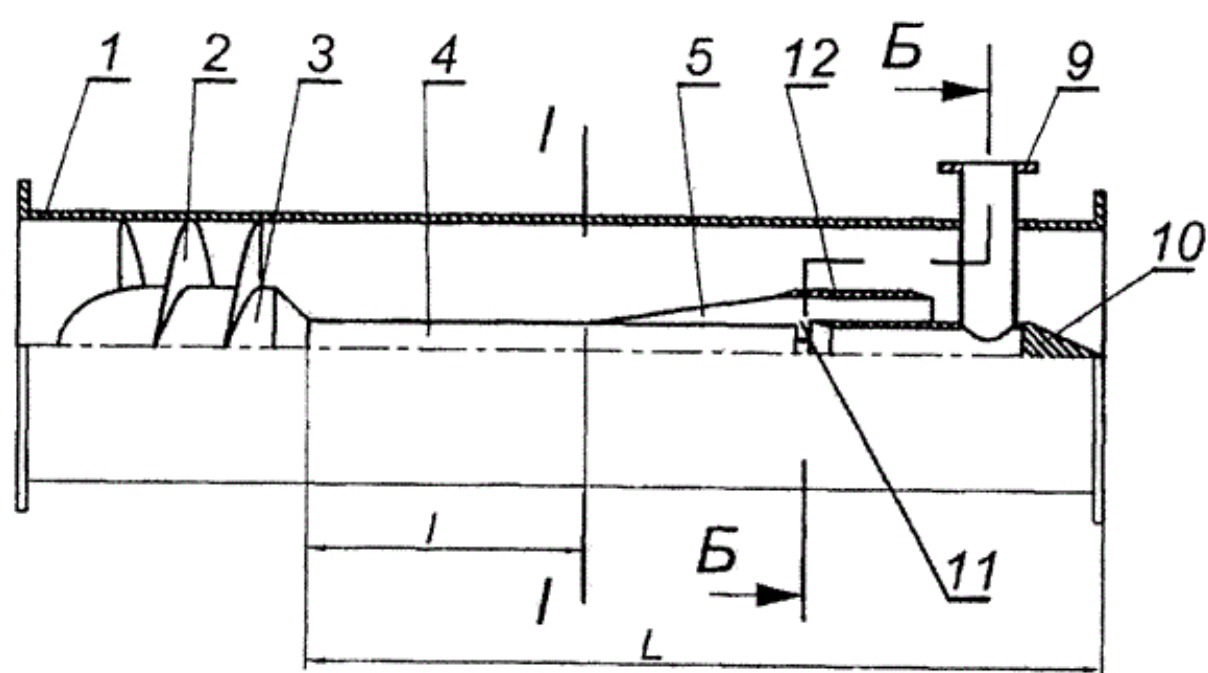
Способ извлечения отдельных компонентов из газовой смеси, который включает в себя закручивание потока в завихрителе, разделение закрученного потока в прямоточной вихревой трубе на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и извлечение компонентов через регулируемые

отводы разделенных потоков, отличающийся тем, что закручивание потока проводится с ускорением движения потока до скорости, тангенциальная составляющая которой превышает минимальную окружную скорость полного закручивания газовой смеси данного состава и физических параметров ее состояния на величину, достаточную для возникновения разделения на периферийный и центральный потоки, а само разделение закрученного потока на периферийный и центральный потоки происходит в кольцевом канале, в котором осевая зона освобождена от потока и на выходе из которого компоненты одного из потоков частично извлекаются при частичном торможении вращения этого потока и отделении зоны отбора компонентов от закрученного потока.

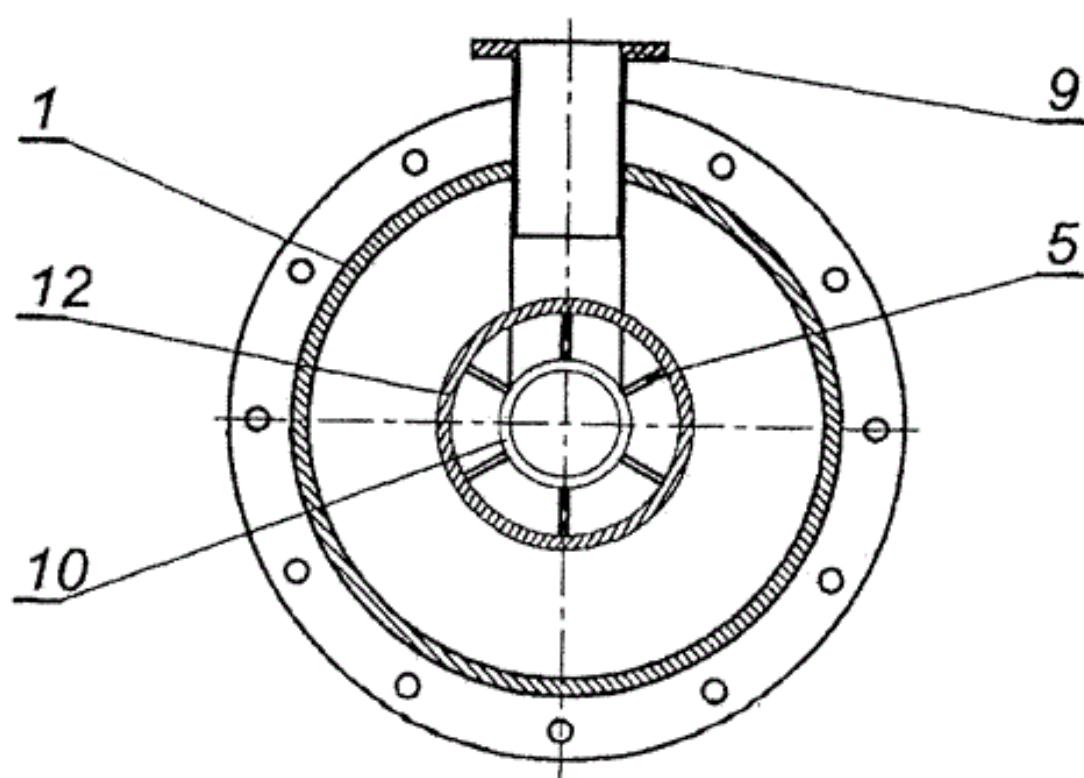
Устройство для извлечения тяжелых компонентов из газовой смеси, которое включает в себя завихритель потока газовой смеси, прямоточную вихревую трубу, где происходит разделение закрученного потока газовой смеси на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и отборник тяжелых компонентов газовой смеси из периферийного потока в виде кольцевой камеры-коллектора, соединенной через продольные щели в корпусе вихревой трубы с внутренней свободной полостью трубы, отличающееся тем, что завихритель состоит из многозаходного шнека с центральным телом, которое при закручивании сжимает и ускоряет газовый поток смеси, а за центральным телом для протекания закрученного потока сформирован кольцевой канал с помощью установленной коаксиально с ним цилиндрической штанги, при этом на выходе из кольцевого канала установлен отборник тяжелых компонентов смеси из периферийного потока, перед которым для торможения вращения периферийного потока установлены продольные ребра с высотой, которая увеличивается с течением потока, а продольные щели в корпусе вихревой трубы окружены цилиндрической коаксиальной с корпусом вихревой трубы обечайкой, которая отделяет зону отбора тяжелых компонентов от закрученного потока.

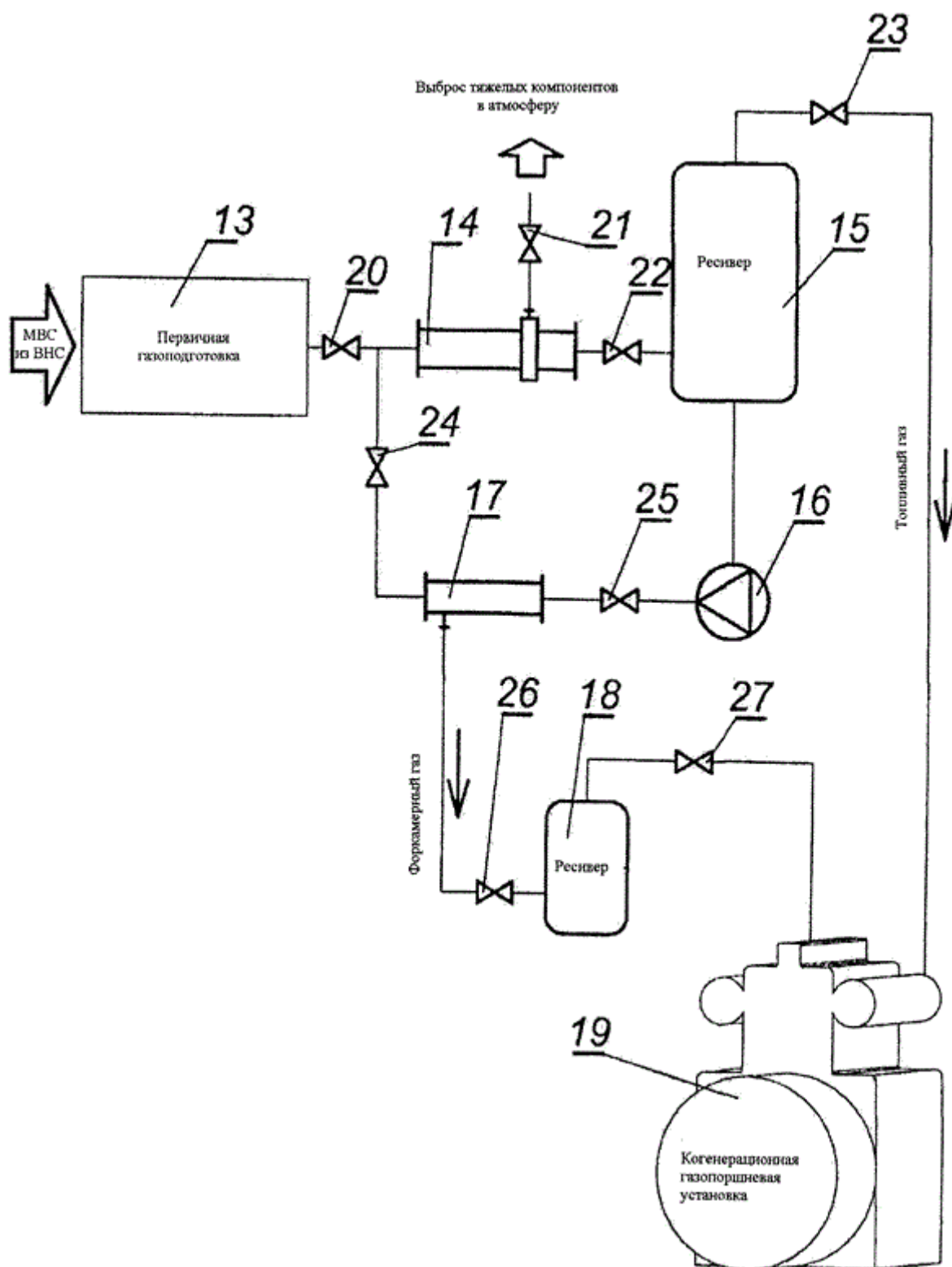
Устройство для извлечения легких компонентов из газовой смеси, которое включает в себя завихритель потока газовой смеси, прямоточную вихревую трубу, где происходит разделение закрученного потока газовой смеси на два потока: периферийный, с преобладанием в нем тяжелых компонентов, и центральный, с преобладанием в нем легких компонентов, и отборник легких компонентов газовой смеси из центрального потока в виде патрубка с кольцевым зазором, отличающееся тем, что завихритель состоит из многозаходного шнека с центральным телом, которое при закручивании сжимает и ускоряет газовый поток смеси, а за центральным телом для протекания закрученного потока сформирован кольцевой канал с помощью установленной коаксиально с ним цилиндрической штанги, при этом на выходе из кольцевого канала установлен с зазором относительно цилиндрической штанги и коаксиально с ней патрубок отбора легких компонентов из центрального потока, перед которым для торможения вращения центрального потока установлены продольные ребра с высотой, которая увеличивается с течением потока, а кольцевой зазор окружен цилиндрической коаксиальной с корпусом вихревой трубы обечайкой, которая отделяет зону отбора легких компонентов от закрученного потока.





*Б - Б*





Так же известные проточные центробежные пылеотделители, имеющие корпус с входными и выходными патрубками и воздухоотводящую трубу, размещенную внутри корпуса, имеют низкую степень очистки воздуха от пыли. [[[http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet), патент № 144086].



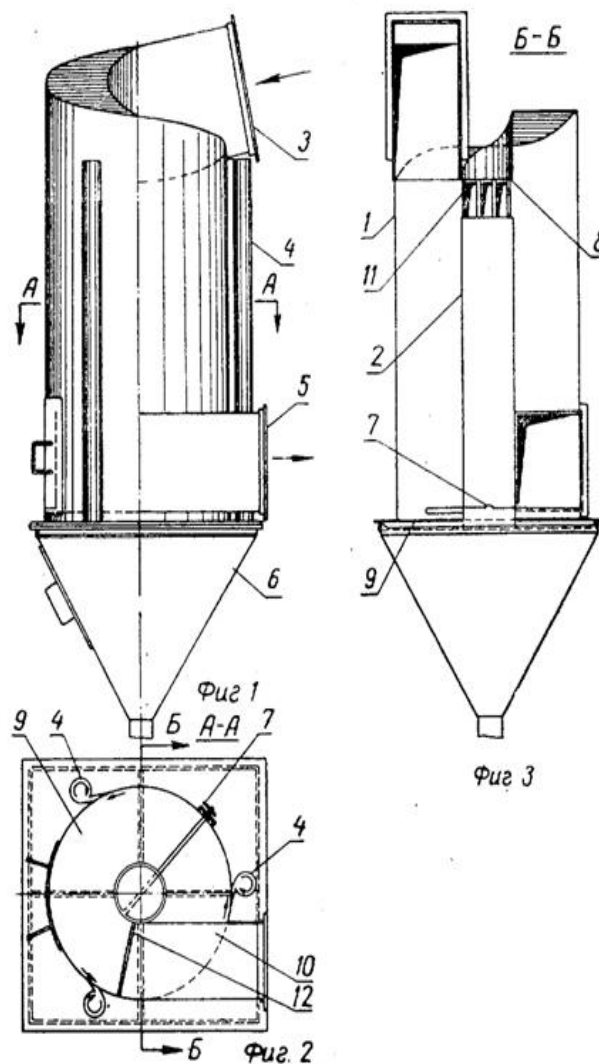
В предложенной конструкции пылеотделителя установлены по наружному периметру его корпуса дополнительные центробежные пылеотделители, в которые поступает через щели в корпусе часть запыленного воздуха. Дополнительные пылеотделители присоединены нижними концами к пылеприемному бункеру, на крышке которого смонтирована отводящая воздух труба. Такой пылеотделитель повышает степень очистки воздуха от пыли.

Пылеотделитель состоит из наружной 1 и внутренней 2 труб, входного патрубка 3, пылесборника 4, выходного патрубка 5, бункера 6, дроссельного клапана 7 с управлением, верхнего днища 8, опорного листа 9 и направляющего листа 10.

Через патрубок 3, расположенный под углом к вертикальной оси пылеотделителя, пыльный воздух входит в пространство между наружной 1 и внутренней 2 трубами и совершив несколько винтообразных оборотов, выходит через патрубок 5 ко второй ступени очистки. При движении воздуха по межтрубному пространству твердые частицы под действием центробежной силы перемещаются к внутренней стенке наружной трубы. Достигнув стенки наружной трубы, твердые частицы теряют скорость, сохраняя винтообразные движения по траектории, несколько отличной от траектории воздушного потока и скользят по стенке трубы. Через щели стенки наружной трубы твердые частицы с небольшим количеством воздуха попадают в пылесборник 4, представляющий собой цилиндр двойной кривизны. В зависимости от диаметра трубы пылесборников может быть два и больше. Они соединяются с межтрубным пространством через щелевой проход, расположенный по касательной с образующими как наружной 1 трубы, так и пылесборника 4. Нижняя часть пылесборника 4 входит через опорный лист 9 в бункер 6, куда попадают из пылесборника твердые частицы, осаждаясь на дно бункера. Воздух по внутренней трубе 2, под действием возникающего в ней разрежения, через отверстия 11 попадает в поток воздуха, только что поступившего в пылеотделитель и повторяет цикл очистки. Для возможности регулирования количества воздуха, проходящего из бункера 6, во внутренней 2 трубе

устанавливается дроссельный клапан 7 с управлением. Часть твердых частиц попадает на опорный лист 9, служащий одновременно и днищем межтрубного пространства и крышки бункера. Эти частицы попадают в бункер через специальную щель 12 опорного листа, расположенную перед выходом частично очищенного воздуха из пылеотделителя. Направляющий лист 10 служит для направления воздушного потока к выходному патрубку бункера.

В предложенной конструкции пылеотделителя эффективность пылеулавливания, благодаря введению оригинальных дополнительных циклонов с внутренней циркуляцией воздуха, выше чем у известных, вследствие чего пылеотделитель может найти применение в ряде производств для очистки промышленных и вентиляционных выбросов, а также предложенный пылеотделитель является полезным и содержит элементы новизны



1 – наружная труба, 2 – внутренняя труба, 3 – входной патрубок, 4 – пылесборник, 5 – выходной патрубок, 6 – бункера, 7 – дроссельный клапан, 8 – верхнее днище, 9 – опорный лист, 10 – направляющий лист

Рисунок 4 – Пылеотделитель

#### Предмет изобретения

Прямоточный центробежный пылеотделитель с корпусом, снабженным входным и выходным патрубками, с воздухоотводящей трубкой, размещенной внутри корпуса, отличающийся тем, что, с целью повышения степени очистки воздуха от пыли, по наружному периметру его корпуса установлены, присоединенные нижними концами к пылеприемному бункеру, на крышке которого смонтирована отводящая воздух труба, дополнительные

центробежные пылеотделители, в которые часть запыленного воздуха поступает через щели в корпусе.

Изобретение относится к оборудованию для удаления мелкодисперстных твердых частиц из газового потока в поле центробежных сил и может быть применено в газовой, цементной, нефтяной, химической промышленности. Сепаратор включает цилиндрический корпус, верхнее и нижнее днища, впускную, шламовую и сливную насадки, внутренние цилиндры, размещенные концентрично корпусу, снабженные тангенциальными прорезями, направленными от периферии к центру по касательной к горизонтальной образующей вертикальных цилиндров, причем входы прорезей устремлены навстречу входному потоку. Тангенциальные прорези выполнены в виде просечно-вытяжного профиля /перформ-профиль/ или образованы вертикальными пластинами, размещенными по окружности вертикальных цилиндров с формированием сопловых каналов, сужающихся от периферии к центру /"беличье" колесо/. Днища могут быть выполнены по параболе с левыми и правыми ветвями: восходящими к центру для верхнего днища и нисходящими к центру для нижнего днища. Технический результат: повышение КПД объема аппарата, повышение эффективности удаления тонкодисперстных фракций, выделение из сливного потока легких, например масляных, фракций, решение проблемы эффективной работы крупномасштабных аппаратов. 7 з.п. ф-лы, 6 ил.

Изобретение предназначено для удаления мелкодисперсных твердых частиц из газового или жидкого потока в поле центробежных сил и применяется в цементной, нефтяной, газовой, химической и других отраслях промышленности.

Жидкостный или газопылежидкостный поток, поступающий в вертикальный цилиндрический аппарат через боковой тангенциальный впускной насадок, прижимается под действием центробежной силы к стенке корпуса, движется, вращаясь, по спирали вниз аппарата, где отсепарированный шлам стекает по конусу и удаляется через шламовый насадок, а очищенный

поток переходит в осевую трубу и удаляется сверху через сливную насадку /Е.А.Штокман. "Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности". М.: "Пищевая промышленность", 1977, с.46/. Циклоны обеспечивают грубую и среднюю очистку, доля улавливания тонкодисперсных частиц невелика.

Из основной формулы, характеризующей работу циклона,

$$P_{ц} = \frac{m \cdot V_{ц}^2}{R}$$

следует, что при прочих равных условиях в циклоне с малым диаметром степень очистки выше, чем в циклоне большого диаметра.

- $P_{ц}$  - центробежная сила.
- $m$  - масса частицы,
- $V_{ц}$  - скорость частицы,
- $R$  - радиус циклона.

Поэтому стремятся при значительных объемах очищаемого потока применять групповую установку циклонов малого диаметра, или так называемые мультициклоны. Однако на практике это улучшение характеристик не столь очевидно из-за увеличения проскока и забивки маленьких циклонов. В итоге мультициклон не намного лучше большого циклона, хотя изготовление мультициклона стоит намного дороже /В.Страус. "Промышленная очистка газов". М.: "Химия", 1981, стр.292/.

Следует также отметить, что в циклоне обычной конструкции не полностью используется энергия центробежного поля. В результате сепарирующая способность стандартных циклонов не достигает теоретических пределов. КПД этих циклонов не превышает 10%. Причина низкого КПД - несовершенство гидродинамического режима и высокая турбулентность /И.В.Скирдов, В.Г.Пономарев. «Очистка сточных вод в гидроциклонах». М.: «Стройиздат», 1975, стр.29/. Полезный объем аппарата можно увеличить, а КПД повысить до 25%, если в циклон установить внутренний цилиндр, который улучшает гидродинамику и снижает турбулентность /Авторское

свидетельство СССР №184187 «Бюллетень изобретений», 1966, №15/. Эта конструкция взята за прототип.

Задачей настоящего изобретения является повышение КПД объема и эффективности удаления тонкодисперсных фракций, а также улавливание масляных компонентов для циклонов и сепараторов как малой, так и высокой производительности.

Задача достигается тем, что в сепараторе циклонном, включающем цилиндрический корпус с внутренним вертикальным цилиндром, верхнее и нижнее днища, впускную, шламовую и сливную насадки, внутренние цилиндры, размещенные концентрично корпусу, имеются тангенциальные прорези, направленные от периферии к центру по касательной к внутренним диаметрам вертикальных цилиндров, причем входы прорезей устремлены навстречу входному потоку.

Тангенциальные прорези могут быть выполнены в виде просечно-вытяжного профиля /перформ-профиль/. Тангенциальные прорези могут быть также образованы вертикальными пластинами, размещенными по окружности вертикальных цилиндров с формированием сопловых каналов, сужающихся от периферии к центру.

Нижнее днище выполнено по параболе с левой и правой нисходящими к центру ветвями с началом координат в нижних углах сечения внутреннего цилиндра, причем концентричные цилиндры простираются по высоте от верхнего до нижнего днища, а форма параболы определяется уравнением  $Y^2 = 2PX$ , где  $Y$  - высота канала,  $X$  - расстояние от начала координат до сечения, а  $P$  - расстояние между фокусом и директрисой. Верхнее и нижнее днища могут быть также выполнены по параболе с левыми и правыми ветвями, восходящими к центру для верхнего днища и нисходящими к центру для нижнего днища, с началами координат в верхних и нижних углах сечения внутреннего цилиндра минимального диаметра.

Верхнее и нижнее днища могут быть снабжены дополнительными сферическими охватывающими днищами. Внизу сливной насадки на стыке параболического и сферического днищ в зоне кольцевой щели между днищами установлен конический отбойник с открытым меньшим основанием внизу, перекрывающий щель, причем в полости, образованной днищами, установлен штуцер выхода легкой фракции. Впускная насадка снабжена двумя зеркально-противоположными треугольными вставками, образующими тангенциальный сопловой канал, сужающийся на входе в корпус.

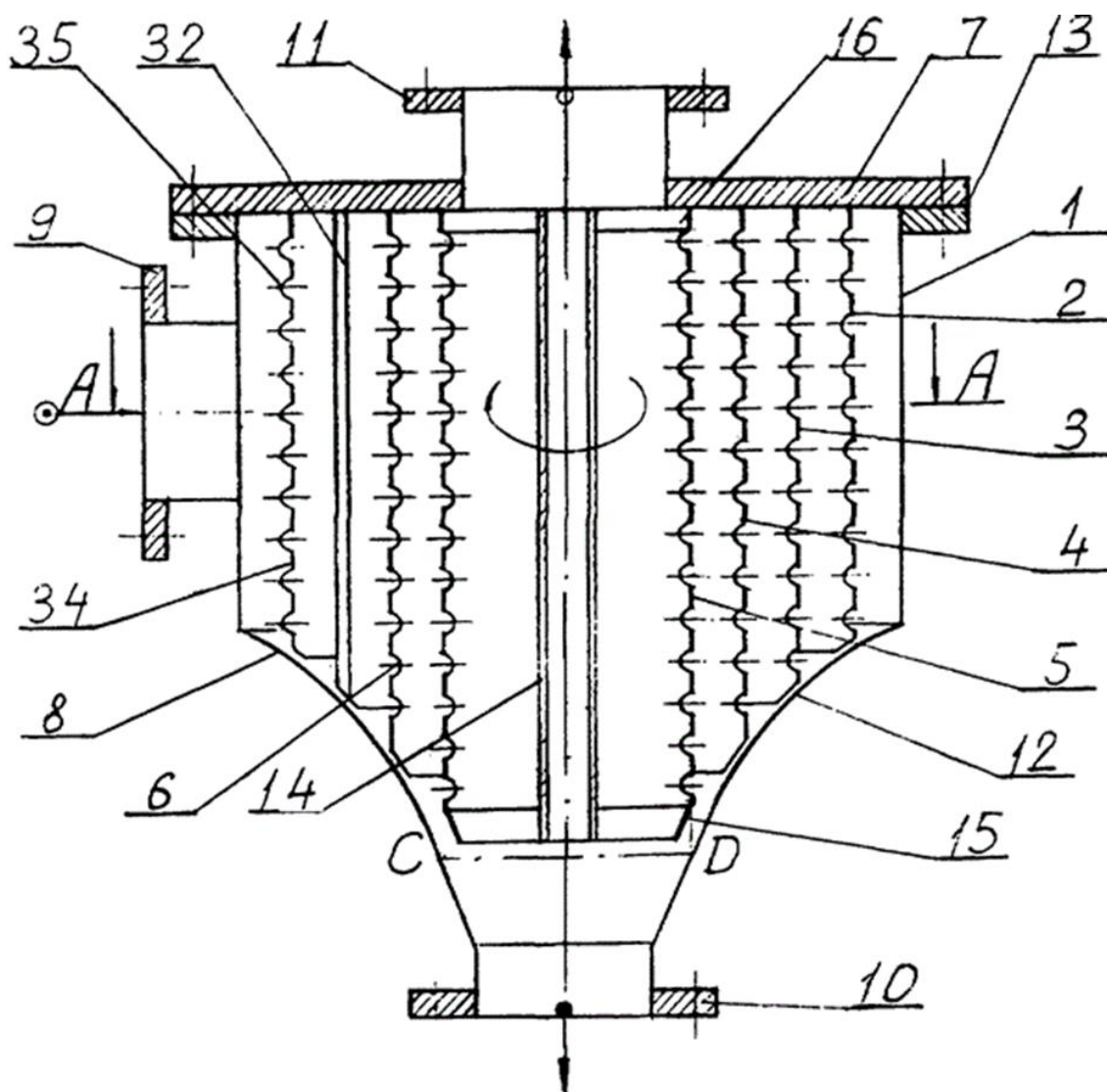


Рисунок 5 – Сепаратор циклонный

На рисунке 5 представлен сепаратор циклонный при работе в режиме циклона, т.е. при низком давлении, на рисунке 6 - сечение А-А рисунок 5 с тангенциальной впускной насадкой. На рисунке 7 - сепаратор циклонный при

работе в режиме сепаратора с дополнительными днищами и «нормальной»  
впускной насадкой при высоком давлении.

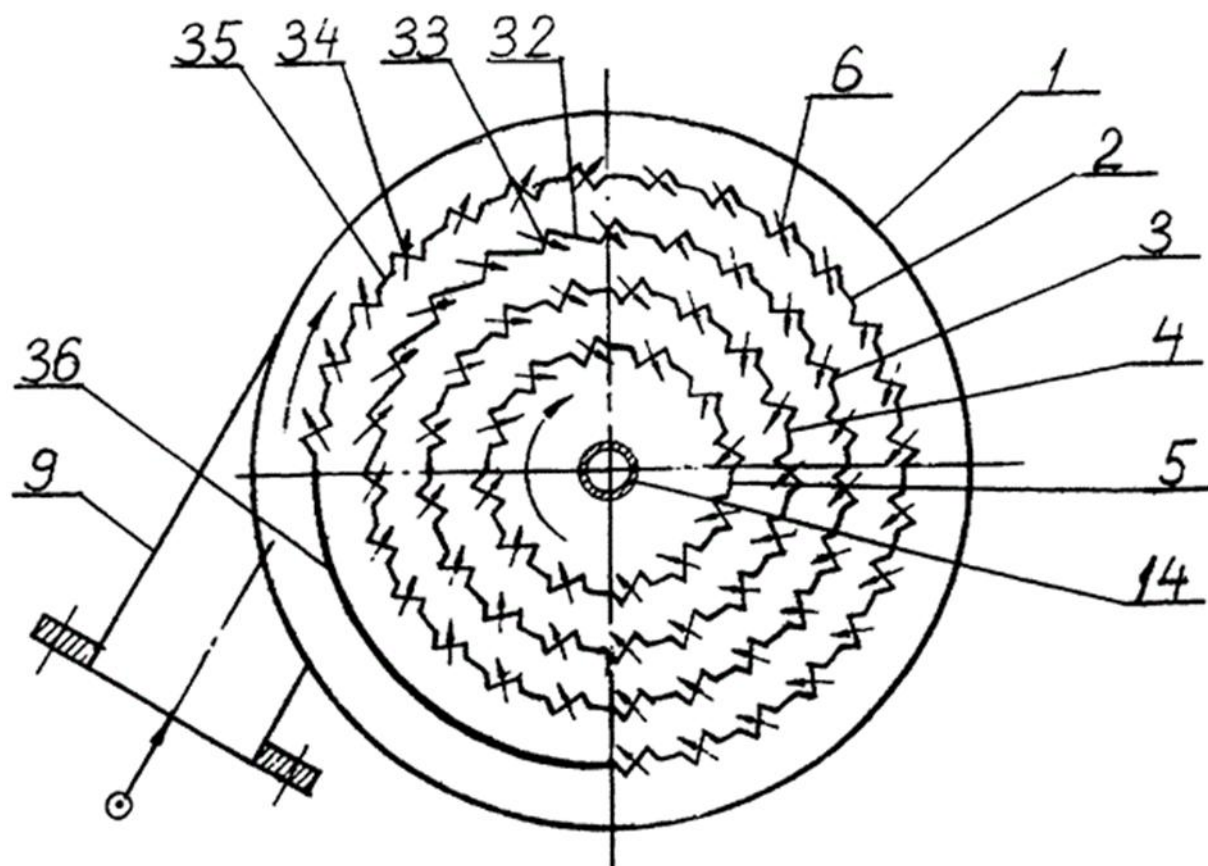


Рис 6 – Сечение А-А



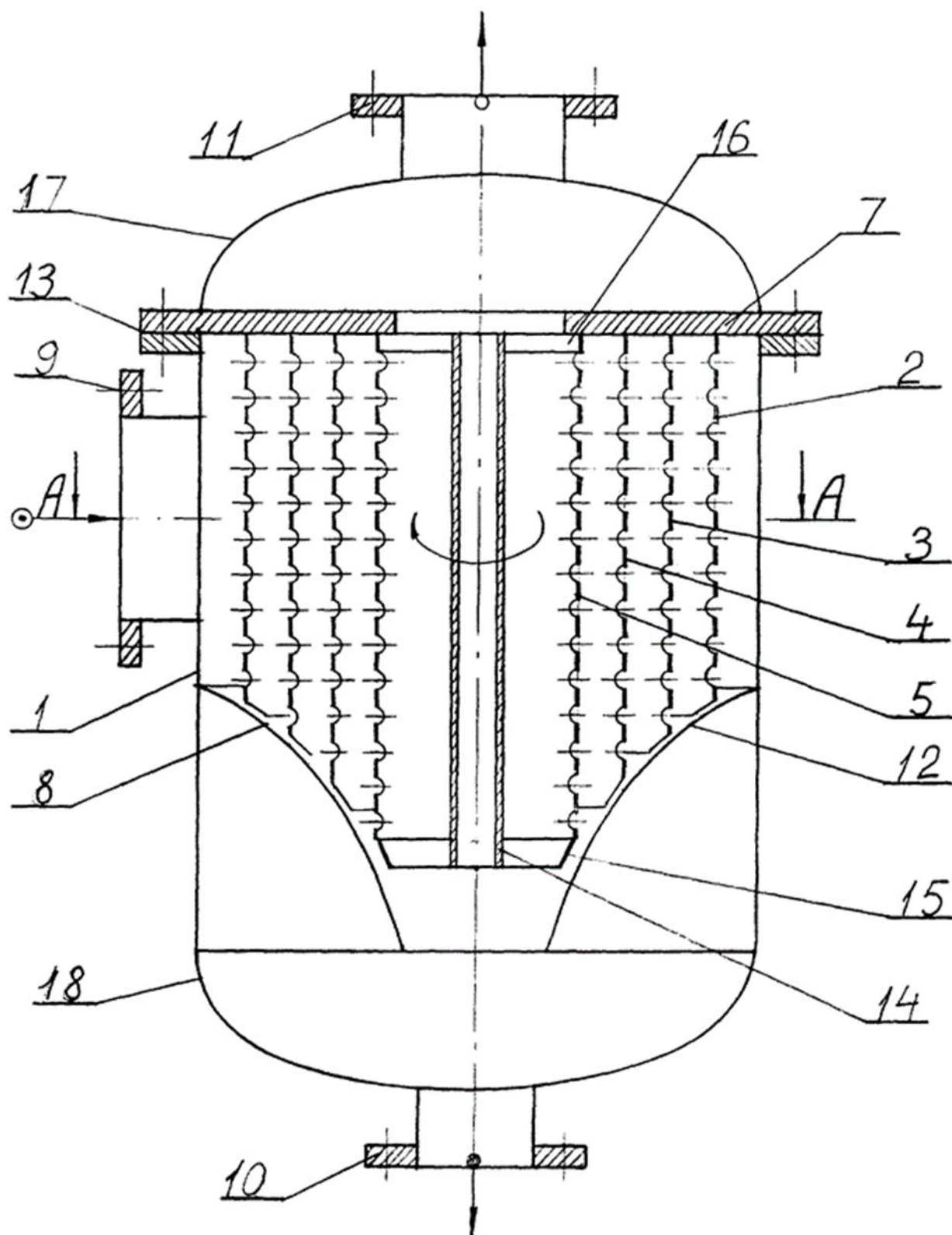


Рисунок 7 – Сепаратор циклонный

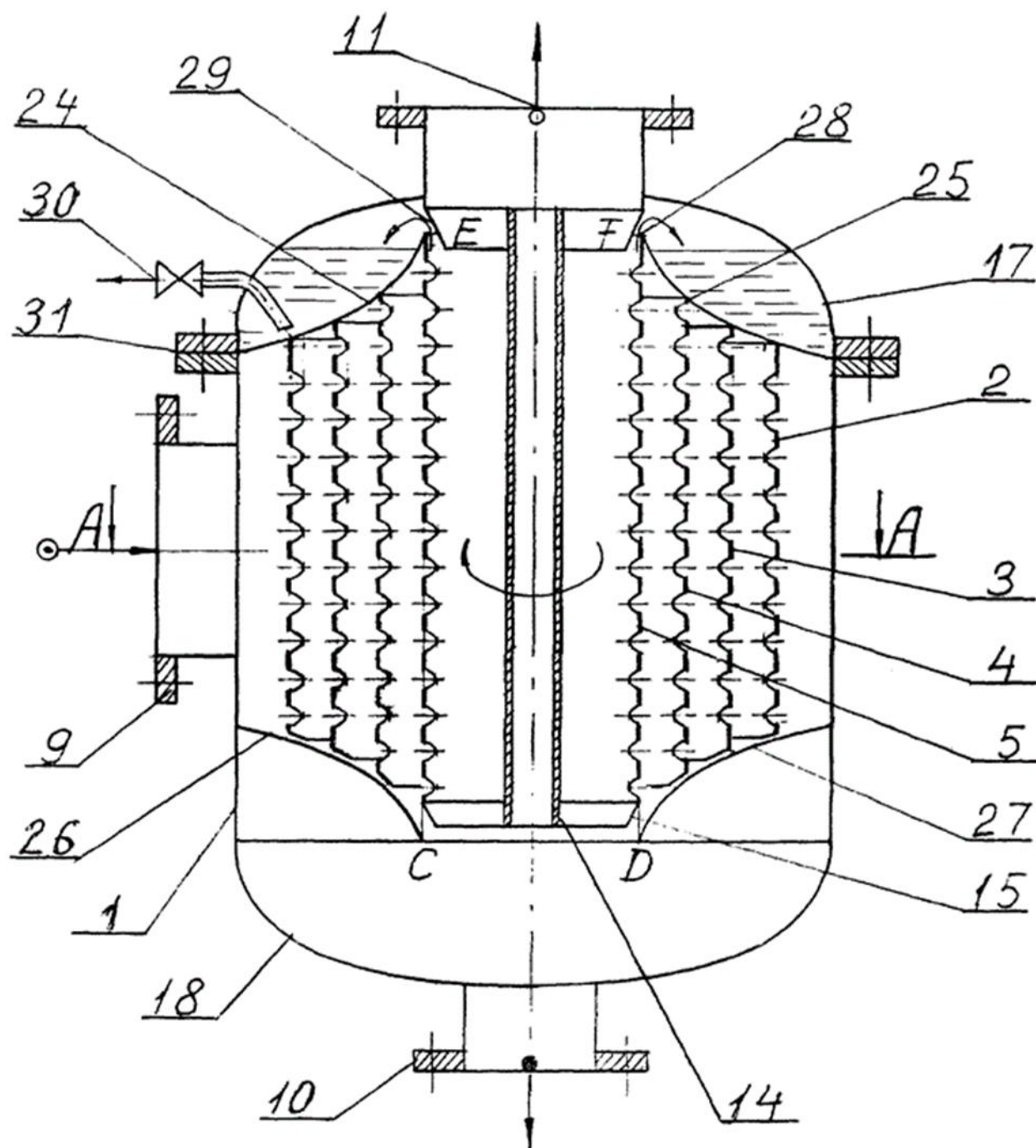


Рисунок 8 – Циклон с выделением из сливного потока более легкой, масляной, фракции

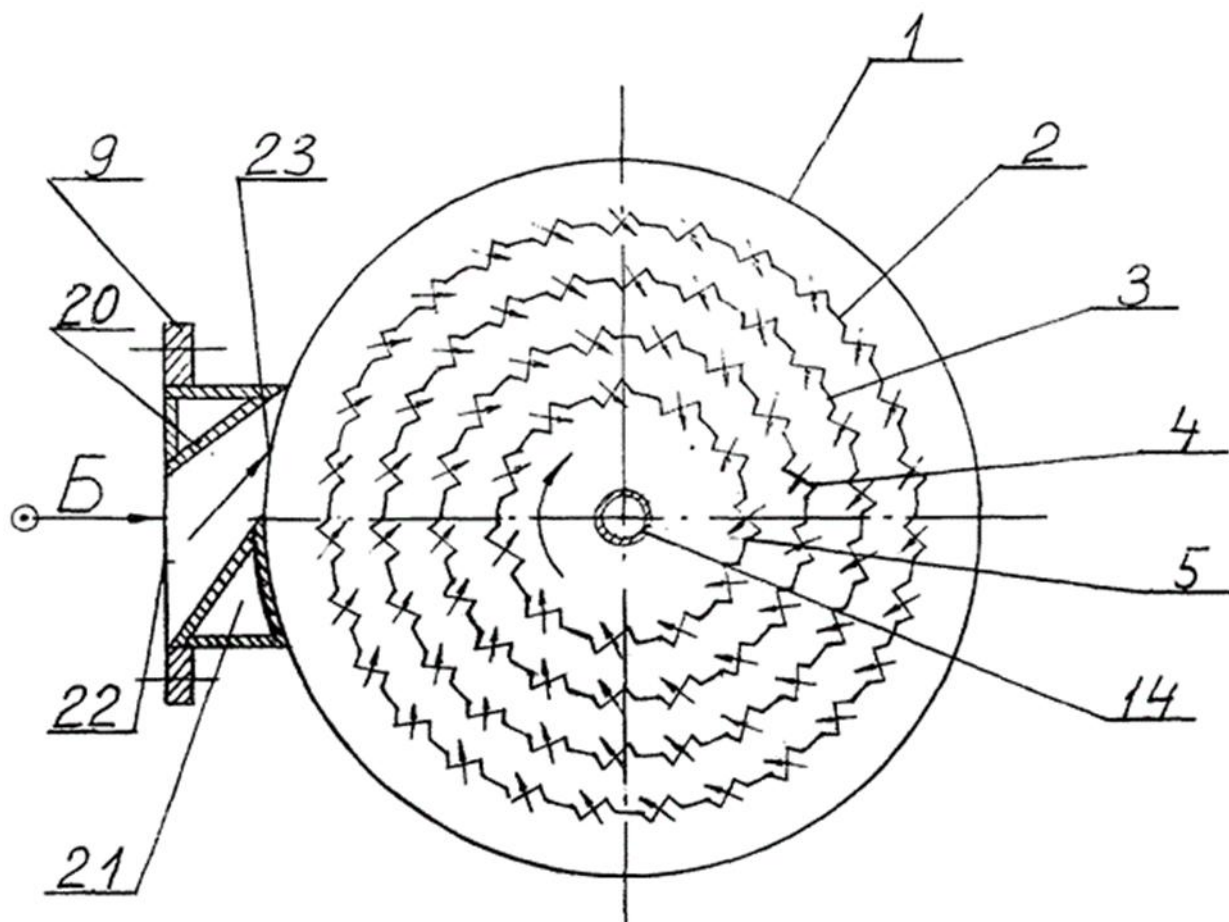


Рисунок 9 – Сечение А-А рисунка 7 и 8

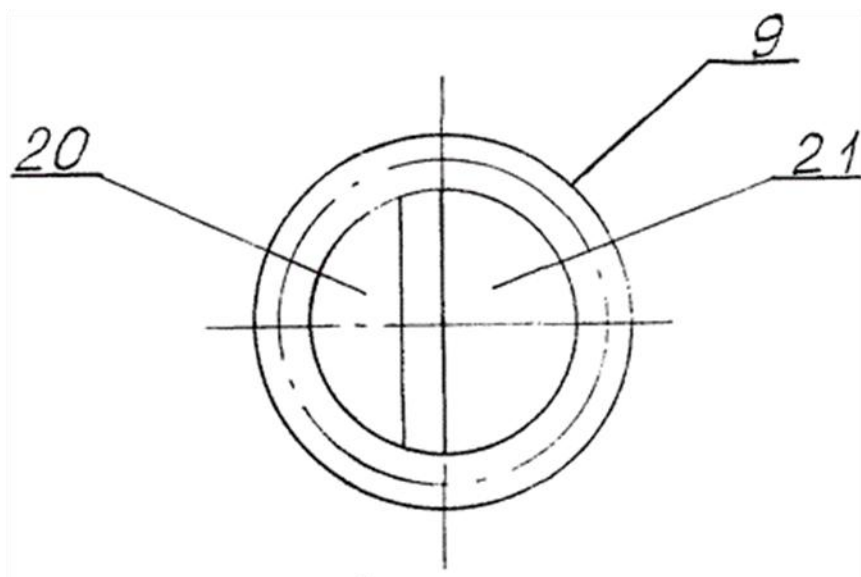


Рисунок 10 – Вид по стрелке Б рисунка 9

Сепаратор циклонный по рисунку 5 и 6 включает цилиндрический корпус 1 с внутренними вертикальными цилиндрами 2, 3, 4, 5 с тангенциальными

прорезями 6, направленными от периферии к центру по касательной к внутренним диаметрам вертикальных цилиндров, верхнее 7 и нижнее 8 днища, тангенциальная впускная 9, шламовая 10 и сливная 11 насадки. Входы прорезей 6 рисунок 6 устремлены навстречу входному потоку 9. На участке впускной насадки 9 вертикальные цилиндры 36 рисунок 6 выполнены без тангенциальных прорезей или входы тангенциальных прорезей 34, 35 рисунок 6 и 5 размещены вдоль входного потока 9 и направлены от центра к периферии – позиция 34. Нижнее днище выполнено по параболе с левой 8 и правой 12 нисходящими к центру ветвями с началом координат в нижних углах С и D сечения внутреннего цилиндра минимального диаметра позиция 5, причем концентрические цилиндры 2, 3, 4, 5 закреплены на верхнем днище 7 на фланцевом разъеме 13 и простираются от верхнего 7 до нижнего позиция 8, 12 днищ. По оси аппарата установлена уравнивательная трубка 14, закрепленная в нижней 15 и верхней 16 втулках, снабженных радиальными ребрами.

При работе в режиме сепаратора высокого давления, смотреть рисунок 7, 9, 10, аппарат снабжен дополнительными сферическими охватывающими днищами 17 и 18, а впускной насадок 9 выполнен по нормали к корпусу 1 – рисунок 9, 10 и снабжен двумя зеркально-противоположными треугольными вставками 20 и 21, образующими тангенциальный сопловый канал 22, сужающийся на входе в корпус 23.

При необходимости выделения из сливного потока более легкой, например масляной, фракции, смотреть рисунок 8, 9, 10, по параболе выполнено не только нижнее, но и верхнее днище, причем для верхнего днища левая 24 и правая 25 ветви параболы выходят к центру днища, а ветви 26 и 27 нисходят к центру нижнего днища. Начала координат ветвей парабол расположены в нижних С и D и верхних Е, F углах сечения внутреннего цилиндра минимального сечения 5. Внизу сливной насадки 11 на стыке параболических 24 и 25 и сферического 17 днищ в зоне кольцевой щели позиция 23 между днищами установлен конический отбойник 29 с открытым

меньшим основанием внизу, перекрывающий щель, причем в полости, образованной днищами, установлен штуцер 30 выхода легкой фракции.

Вертикальные концентричные цилиндры 2, 3, 4, 5, закреплены на верхнем параболическом днище 24, 25, совмещенном с фланцевым разъемом 31.

Тангенциальные прорези 6 могут быть выполнены в виде просечно-вытяжного профиля /перформ-профиль/. Тангенциальные прорези могут быть также образованы вертикальными пластинами 32, размещенными по окружности вертикальных цилиндров 2, 3, 4, 5 с формированием сопловых каналов 32, сужающихся от периферии к центру /"беличье" колесо/ рисунок 5 и 6. Сепаратор циклонный работает следующим образом.

Жидкостный или газопылежидкостный поток вводится в аппарат через тангенциальный впускной насадок 9 – рисунок 5 и 6 - вариант низкого давления, закручивается и движется, вращаясь в кольцевых полостях, образованных корпусом 1 и вертикальными перфорированными цилиндрами, позиция 2, 3, 4, 5, перемещаясь последовательно от наружной к внутренней полости. Вращение происходит за счет наличия касательной составляющей тангенциальных прорезей 6, а переводение - за счет наличия осевой составляющей. Под действием центробежной силы, возникающей при вращении, поток прижимается к стенке корпуса 1 и к стенкам цилиндров 2, 3, 4, 5, разделяется на легкие и тяжелые фракции, причем отсепарированный шлам удаляется через шламовый насадок 10, а очищенный поток удаляется сверху через сливную насадку 11. Залогом высокой эффективности сепарации является высокая центробежная сила  $P_{ц}$ , которая, как отмечено в описании, имеет максимальное значение в циклонах малого диаметра и минимальное - для больших аппаратов.

Кроме того, пустотелый аппарат большого диаметра только с одной "разделяющей" корпусной стенкой, к которой прижимается вращающийся поток, имеет, как отмечено, низкий КПД использования объема, не превышающий 10%.

Предлагается более конструктивно использовать другой параметр в уравнении центробежной силы - скорость в квадрате, который более значим, чем радиус в первой степени. Например, если численное значение и радиуса, и скорости одинаковы  $R=V=10$ , то скорость в квадрате составит  $V^2=100$ , т.е. в десять больше чем значение  $R=10$ .

Как известно, значение расхода потока равно:  $Q=V \cdot F$ ,

где  $V$  - скорость, а  $F$  - площадь канала, по которому движется поток.

Если объем аппарата разделить перегородками на каналы, т.е. резко уменьшить сечение, по которому раньше вращался поток, то при постоянной величине потока скорость существенно вырастет. Для стабилизации потока и исключения вредной турбулентности расчет сечения каналов был выполнен из условия постоянства центробежной силы во всех сечениях аппарата, а в качестве базовой центробежной силы принято ее максимальное значение  $P_{ц}=\max$ , достигаемое у перегородки минимального диаметра – позиция 5 рисунок 5 и 6.

Величина потока  $Q$  во всех сечениях была постоянной  $Q=\text{const}$ .

За счет тангенциальных прорезей (позиция 6) поток, вращаясь плавно, перетекал из наружных во внутренние каналы. Учитывая уменьшающийся радиус каналов  $R$  при переходе от наружных к внутренним каналам, высота сечений плавно увеличивалась. Выявился параболический закон изменения высоты сечений / ширина принята постоянной/:

$$Y^2=2PX, \text{ где:}$$

- $Y$  - высота канала,
  - $X$  - расстояние от начала координат до сечения,
  - $P$  - параметр, равный расстоянию между фокусом и директрисой параболы
- /Е.А.Скорыходов. "Общетеchnический справочник". М.: "Машиностроение", 1990, стр.43/.

Возможны два варианта конструктивной реализации уравнения параболы:

- все приращение высоты сечения каналов сосредоточено внизу аппарата – рисунок 5, 6, 7.

- приращение высоты распределено на верх и низ аппарата равномерно – рисунок 7. Разновидностью этого варианта является неравномерное приращение высоты между верхом и низом, что также может быть рабочим вариантом в зависимости от требований технологии.

За начало координат параболы приняты точки в нижних и верхних углах сечения внутреннего цилиндра минимального диаметра:

С и D – рисунок 5, 6, 7, С, D, E, Р – рисунок 8.

С появлением вертикальных концентричных перфорированных цилиндров резко увеличилась сепарирующая поверхность, причем величина центробежной силы в каналах большого диаметра столь же высока, как и в канале минимального диаметра. Таким образом увеличился процент улавливания тонких фракций и КПД использования объема аппарата. Применение сит с просечно-вытяжным профилем /перформ-профиль/ резко упростило задачу изготовления тангенциальных вырезов - подобные сита освоены промышленностью.

Вариант с образованием тангенциальных прорезей при помощи вертикальных пластин 32 предпочтительней для твердой фазы, способной "забить" перформ-сетку, а также для абразивного материала, способного быстро "стереть" сетку.

Вариант с "крутой" нижней параболой более пригоден для циклонов с труднотекучей шламовой фракцией – рисунок 5, 6, 7, причем аппарат по рис.7 предусматривает работу при высоком давлении, например, для газовых сепараторов.

Вариант с приращением высоты, распределенной на верх и низ аппарата – рисунок 8, может быть полезен при необходимости выделения из сливного потока более легкой, например масляной, фракции: приращение высоты вверху в зоне легких фракций по сравнению с плоским днищем по рисунке 7 позволяет

увеличить объем "масляной" фракции, четче выделить "масло" из общего сливного потока. В сепараторе по рисунке 7 идет тонкое фракционное разделение по высоте тяжелой и более тяжелой шламовой фракции, а по рис.8 - легкой и более легкой сливной фракции. На рисунке 7 разделенные фракции смешиваются в общем сливном потоке, а на рисунке 8 ловушка, образованная отбойником 29, параболическим днищем 24, 25 и щелью 28 позволяет выделить "масляную" фракцию из общего сливного потока, собрать "масло" в специальной полости днищ 24, 25, 17 и удалить его через штуцер 30.

При большом диаметре впускной насадки 9 и относительно малой ширине канала между корпусом 1 и вертикальной обечайкой 5 входной поток может через устремленные ему навстречу входы прорезей 6 попасть в следующий канал между обечайками 2 и 3 без раскрутки в прикорпусном канале. Чтобы исключить этот недостаток, вертикальный цилиндр 2 на участке впускной насадки 9 выполнен без тангенциальных прорезей - поз.36. Однако сепарационный эффект будет выше, а поверхность сепарации больше, если на участке впускной насадки 9 входы тангенциальных прорезей 34, 35 размерены вдоль входного потока и направлены от центра к периферии - рис.6.

Поток на входном участке наберет максимальную скорость, а на участке "встречных" прорезей 6 начнет перетекать во внутренние каналы, обеспечивая высокий КПД объема аппарата.

Для сепараторов высокого давления рис.7, 8 не рекомендовано применение тангенциальных штуцеров типа рис.6 из-за ослабления сечения. Однако высокая потеря напора и искажение газового потока при установке дефлекторов заставляет искать способы преобразования "нормального" штуцера в тангенциальный. Такое преобразование предпринято в патенте №2136350 RU C1, рис.6: в "нормальный" штуцер введены вертикальные пластины и дефлектор. Пластины вдвое увеличивают длину штуцера, а дефлектор наполовину перекрывает кольцевое сечение корпуса сепаратора, что



турбулизирует поток, увеличивает потерю напора и снижает эффективность сепарации.

В предлагаемом по рисунок 9 и 10 решении впускной насадок 9 выполнен по нормали к корпусу 1 и снабжен двумя зеркально-противоположными вставками треугольного профиля 20 и 21, образующими тангенциальный сопловый канал 22, сужающийся на входе в корпус 23.

Дефлектор отсутствует. Вставки 20 и 21 вписываются в длину обычного штуцера. Исполнение входа в виде сужающегося сопла способствует исключению дефлектора, так как поток становится строго тангенциальным, а не "размазанным" по спиралям.

Внедрение предлагаемого сепаратора циклонного позволяет:

- повысить КПД объема аппарата,
- повысить эффективность удаления тонкодисперсных фракций,
- выделить из сливного потока легкую, например масляную, фракцию,
- работать в условиях как низких, так и высоких давлений,
- решить проблему эффективной работы крупномасштабных аппаратов высокой производительности,
- обеспечить возможность серийного изготовления аппаратов.

Формула изобретения

1. Сепаратор циклонный, включающий цилиндрический корпус, верхнее и нижнее днища, впускную, шламовую и сливную насадки, отличающийся тем, что внутренние цилиндры, размещенные концентрично корпусу, снабжены тангенциальными прорезями, направленными от периферии к центру по касательной к горизонтальной образующей вертикальных цилиндров, причем входы прорезей устремлены навстречу входному потоку.

2. Сепаратор циклонный по п.1, отличающийся тем, что тангенциальные прорези выполнены в виде просечно-вытяжного профиля (перформ-профиль).

3. Сепаратор циклонный по п.1, отличающийся тем, что тангенциальные прорези образованы вертикальными пластинами, размещенными по

окружности вертикальных цилиндров с формированием сопловых каналов, сужающихся от периферии к центру ("беличье" колесо).

4. Сепаратор циклонный по п.1, отличающийся тем, что нижнее днище выполнено по параболе с левой и правой нисходящими к центру ветвями с началом координат в нижних углах сечения внутреннего цилиндра минимального диаметра, причем концентричные цилиндры по высоте простираются от верхнего до нижнего днища.

5. Сепаратор циклонный рисунок 5, отличающийся тем, что верхнее и нижнее днища выполнены по параболе с левыми и правыми ветвями: восходящими к центру для верхнего днища и нисходящими к центру для нижнего днища с началом координат в верхних и нижних углах сечения внутреннего цилиндра минимального диаметра.

6. Сепаратор циклонный по любому из пп.1, 4, 5, отличающийся тем, что верхнее и нижнее днища снабжены дополнительными сферическими охватывающими днищами.

7. Сепаратор циклонный по пункту 6, отличающийся тем, что внизу сливной насадки на стыке параболического и сферического днищ в зоне кольцевой щели между днищами установлен конический отбойник с открытым меньшим основанием внизу, перекрывающий щель, причем в полости, образованной днищами, установлен штуцер выхода легкой фракции.

8. Сепаратор циклонный по п.1, отличающийся тем, что впускная насадка снабжена двумя зеркально-противоположными треугольными вставками, образующими тангенциальный сопловой канал, сужающийся на входе в корпус.

Так же существует способ модернизации газового сепарационного узла аппарата, предназначенного для улавливания жидких и твердых частиц из газового потока, и к газовому сепаратору. Способ включает демонтаж элементов внутри сепаратора и удаление их через люк-лаз. Затем внутрь сепаратора помещают, по крайней мере, два сепарационных устройства, переходные патрубки и дренажные трубы. Жестко закрепляют сепарационные

устройства внутри сепаратора. Дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора. Сепаратор снабжают блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора. В способе по варианту 1 входной патрубков сепаратора с помощью переходных патрубков соединяют с выходными патрубками сепарационных устройств. На выходе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан. В способе по варианту 2 выходной патрубков сепаратора с помощью переходных патрубков соединяют с выходными патрубками сепарационных устройств. На выходе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан. Раскрыт сепаратор, содержащий корпус, входной, выходной сливной патрубки, по крайней мере, два сепарационных устройства с вертикальным корпусом, входным, выходным, сливным патрубками. Сливные патрубки сепарационных устройств гидравлически соединены с областью гидрозатвора сепаратора. Блок управления управляет запорными клапанами в зависимости от давления внутри сепаратора. Обеспечивается расширение диапазона нагрузок сепаратора при сохранении эффективности сепарации. 4 н. и 16 з.п. ф-лы, 5 ил.

#### Область техники

Группа изобретений относится к газовым сепарационным аппаратам, предназначенным для улавливания аэрозольных и мелкодисперсных жидких и твердых частиц из газового потока, и может быть использовано в различных отраслях промышленности, связанных с очисткой и осушкой газов, например в нефтяной, газовой, химической отраслях промышленности.

#### Предшествующий уровень техники

Известен способ модернизации сепарационного узла газового (патент РФ на изобретение 2310497, МПК В01D 45/12, В01С 5/00, 2007 [1]), при котором демонтируют конструктивные элементы, находящиеся внутри корпуса сепаратора, удаляют их из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз,

помещают во внутреннее пространство сепаратора сепарационное устройство, крепежные балки, переходной патрубок и переходную трубу, с помощью крепежных балок жестко закрепляют сепарационное устройство, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора, с помощью переходного патрубка соединяют входной патрубок сепарационного устройства с входным патрубком сепаратора, а с помощью переходной трубы соединяют выходной патрубок сепарационного устройства с выходным патрубком сепаратора.

Недостатком указанного способа является размещение и крепление внутри сепаратора одного сепарационного устройства. Этот недостаток приводит к ограниченности эффективности сепарации характеристиками размещенного внутри него сепарационного устройства.

Известен сепаратор газовый, содержащий вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки, сепарационное устройство, закрепленное, по крайней мере, на одном опорном элементе. При этом сепарационное устройство выполнено в виде малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, содержащего вертикальный корпус, входной и выходной патрубки, дренажное отверстие. Крепление сепарационного устройства, по крайней мере, к одному опорному элементу выполнено с помощью крепежных балок. Входной патрубок сепарационного устройства соединен с входным патрубком сепаратора переходным патрубком. Выходной патрубок сепарационного устройства соединен с выходным патрубком сепаратора переходной трубой.

Недостатком указанного сепаратора является размещение внутри сепаратора одного сепарационного устройства. Этот недостаток приводит к ограниченности эффективности сепаратора характеристиками размещенного внутри него сепарационного устройства.

#### Раскрытие изобретения

Техническим результатом, обеспечиваемым каждым изобретением из заявляемой группы, является расширение диапазона нагрузок сепаратора при сохранении эффективности сепарации.

Сущность способа модернизации сепарационного узла газового по варианту 1 состоит в следующем. Сначала демонтируют конструктивные элементы, находящиеся внутри корпуса сепаратора, и удаляют демонтированные конструктивные элементы из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз. Затем помещают во внутреннее пространство сепаратора первое сепарационное устройство и переходные патрубки. При этом во внутреннее пространство сепаратора дополнительно помещают дренажные трубы и  $N$  дополнительных сепарационных устройств ( $N \geq 1$ ). Затем жестко закрепляют первое и дополнительные сепарационные устройства, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора. Входной патрубок сепаратора с помощью переходных патрубков соединяют с входными патрубками первого и дополнительных сепарационных устройств. На входе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан. Дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора. Сепаратор снабжают блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Количество  $N$  дополнительных сепарационных устройств может быть, в частности, равно одному или трем. Каждое сепарационное устройство желательно выполнять на базе малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, содержащего входной, выходной и сливной патрубки, дефлектор и сепарационный пакет. Блок управления допустимо размещать внутри или снаружи сепаратора.

Сущность способа модернизации сепарационного узла газового по варианту 2 состоит в следующем. Сначала демонтируют конструктивные элементы, находящиеся внутри корпуса сепаратора, и удаляют демонтированные конструктивные элементы из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз. Затем помещают во внутреннее пространство сепаратора первое сепарационное устройство и переходные патрубки. При этом во внутреннее пространство сепаратора дополнительно помещают дренажные

трубы и  $N$  дополнительных сепарационных устройств ( $N \geq 1$ ). Затем жестко закрепляют первое и дополнительные сепарационные устройства, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора. Выходной патрубок сепаратора с помощью переходных патрубков соединяют с выходными патрубками первого и дополнительных сепарационных устройств. На выходе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан. Дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора. Сепаратор снабжают блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Количество  $N$  дополнительных сепарационных устройств может быть, в частности, равно одному или трем. Каждое сепарационное устройство желательно выполнять на базе малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, содержащего входной, выходной и сливной патрубки, дефлектор и сепарационный пакет. Блок управления допустимо размещать внутри или снаружи сепаратора.

Сущность сепаратора газового по варианту 1 состоит в том, что он содержит корпус, входной, выходной, сливной патрубки, первое сепарационное устройство, содержащее вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки. При этом входной патрубок сепаратора соединен с входным патрубком первого сепарационного устройства. При этом сепаратор дополнительно содержит  $N$  дополнительных сепарационных устройств ( $N \geq 1$ ), каждое из которых содержит вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки. При этом входной патрубок сепаратора соединен с входными патрубками  $N$  дополнительных сепарационных устройств, причем на входном патрубке, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещен запорный клапан. При этом сливные патрубки всех сепарационных устройств соединены дренажными трубами с областью гидрозатвора. При этом сепаратор дополнительно содержит блок управления, выполненный с

возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Количество  $N$  дополнительных сепарационных устройств может быть, в частности, равно одному или трем. Сепарационное устройство желательно выполнять в виде малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, дополнительно содержащего дефлектор и сепарационный пакет. Блок управления допустимо размещать внутри или снаружи сепаратора. Запорные клапаны и внутреннее пространство сепаратора целесообразно выполнять гидравлически соединенными с блоком управления с помощью соединительных трубок. Блок управления также допустимо размещать снаружи сепаратора и электрически связывать с запорными клапанами и датчиком давления, который возможно размещать внутри или снаружи сепаратора и гидравлически связывать с внутренним пространством сепаратора.

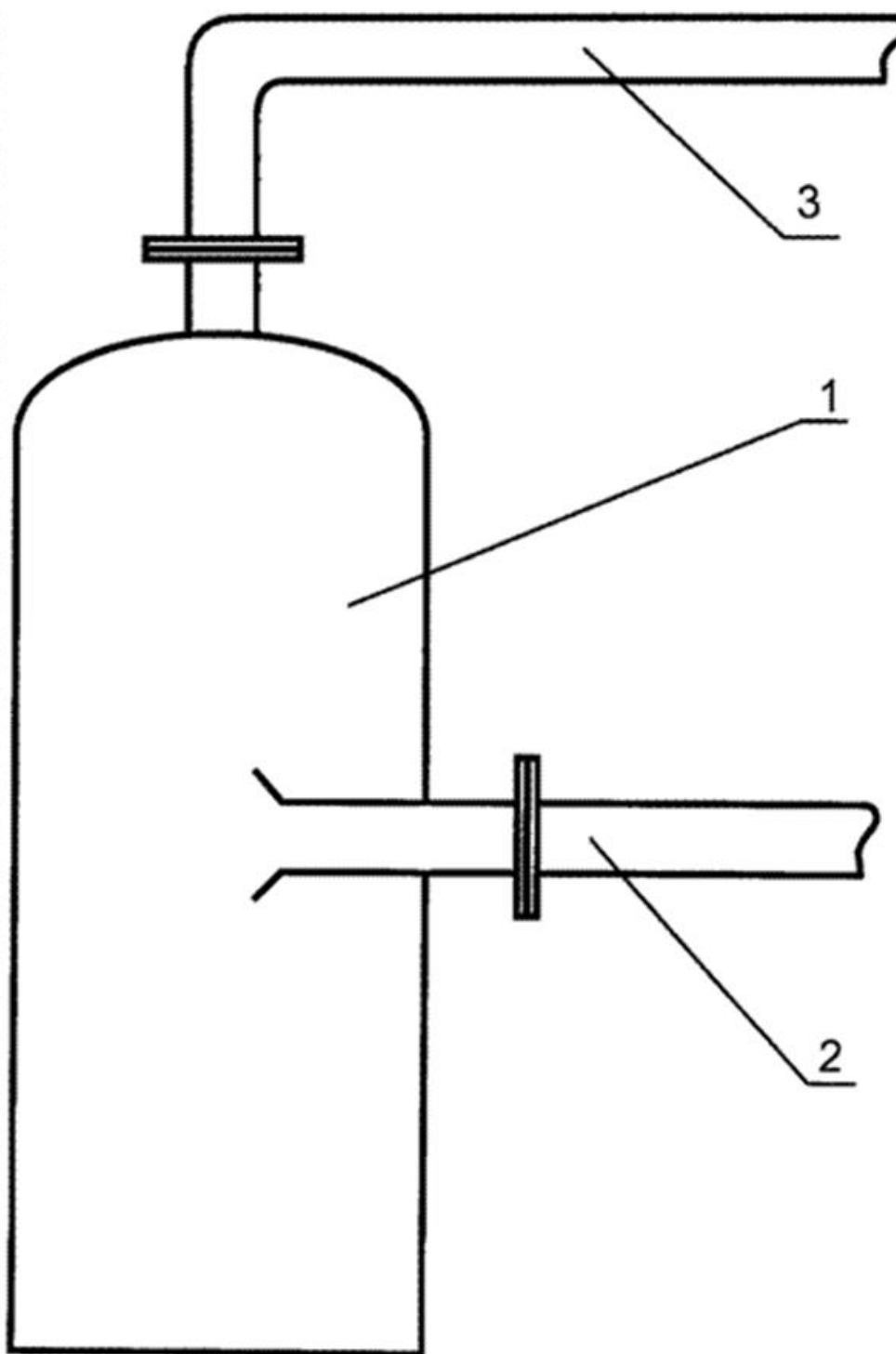
Сущность сепаратора газового по варианту 2 состоит в том, что он содержит корпус, входной, выходной, сливной патрубки, первое сепарационное устройство, содержащее вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки. При этом выходной патрубок сепаратора соединен с выходным патрубком первого сепарационного устройства. При этом сепаратор дополнительно содержит  $N$  дополнительных сепарационных устройств ( $N \geq 1$ ), каждое из которых содержит вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки. При этом выходной патрубок сепаратора соединен с выходными патрубками  $N$  дополнительных сепарационных устройств, причем на выходном патрубке, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещен запорный клапан. При этом сливные патрубки всех сепарационных устройств соединены дренажными трубами с областью гидрозатвора. При этом сепаратор дополнительно содержит блок управления, выполненный с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Количество  $N$  дополнительных сепарационных устройств может быть, в частности, равно одному или трем. Сепарационное устройство желательно выполнять в виде малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, дополнительно содержащего дефлектор и сепарационный пакет. Блок управления допустимо размещать внутри или снаружи сепаратора. Запорные клапаны и внутреннее пространство сепаратора целесообразно выполнять гидравлически соединенными с блоком управления с помощью соединительных трубок. Блок управления также допустимо размещать снаружи сепаратора и электрически связывать с запорными клапанами и датчиком давления, который возможно размещать внутри или снаружи сепаратора и гидравлически связывать с внутренним пространством сепаратора.

Краткое описание чертежей.

На рисунке 11 показана схема сепарационного узла:





1 – сепаратор, 2 – подводящий газопровод, 3 – отводящий газопровод

Рисунок 11 – Схема сепарационного узла

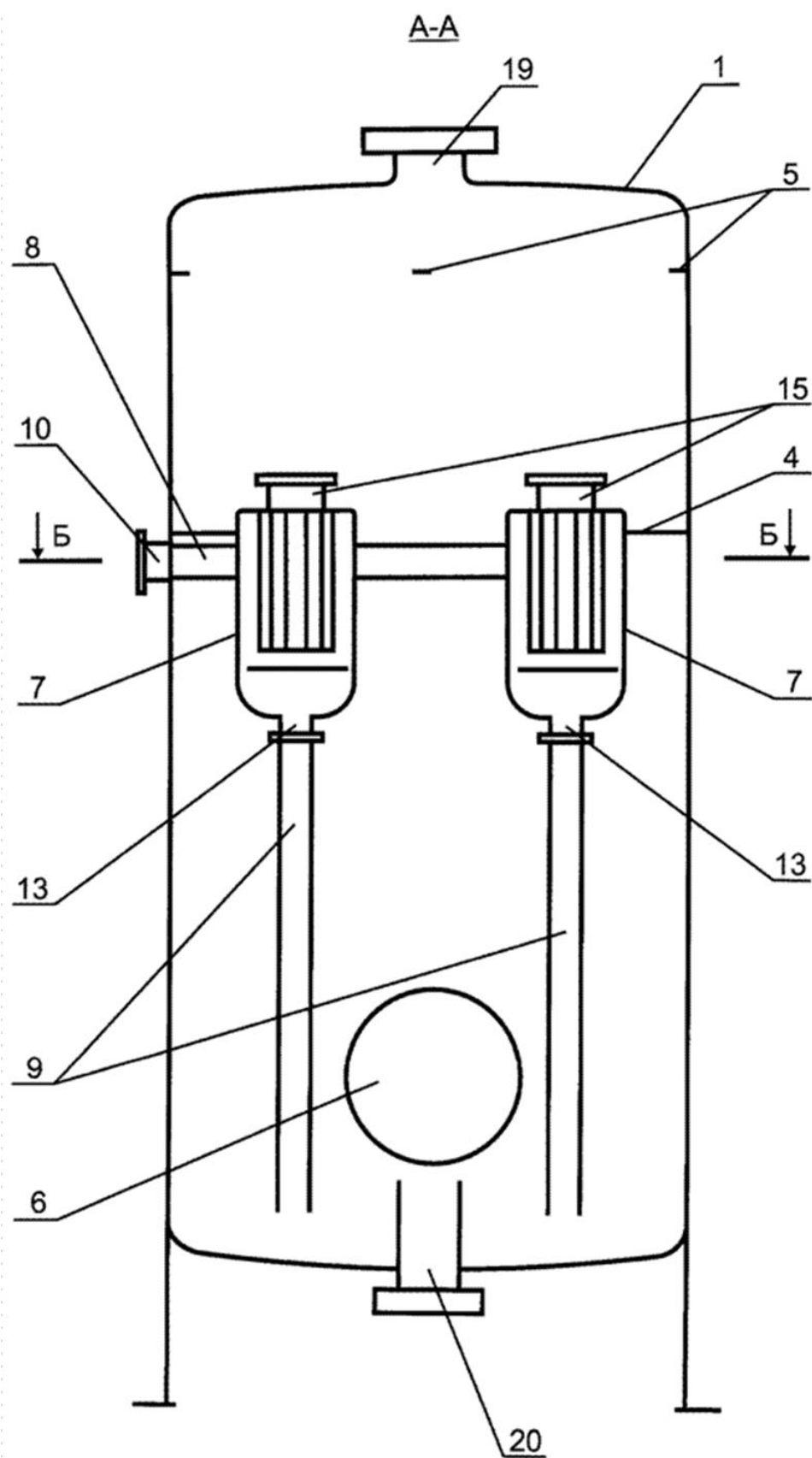


Рисунок 12 – Схема сепаратора, продольный разрез

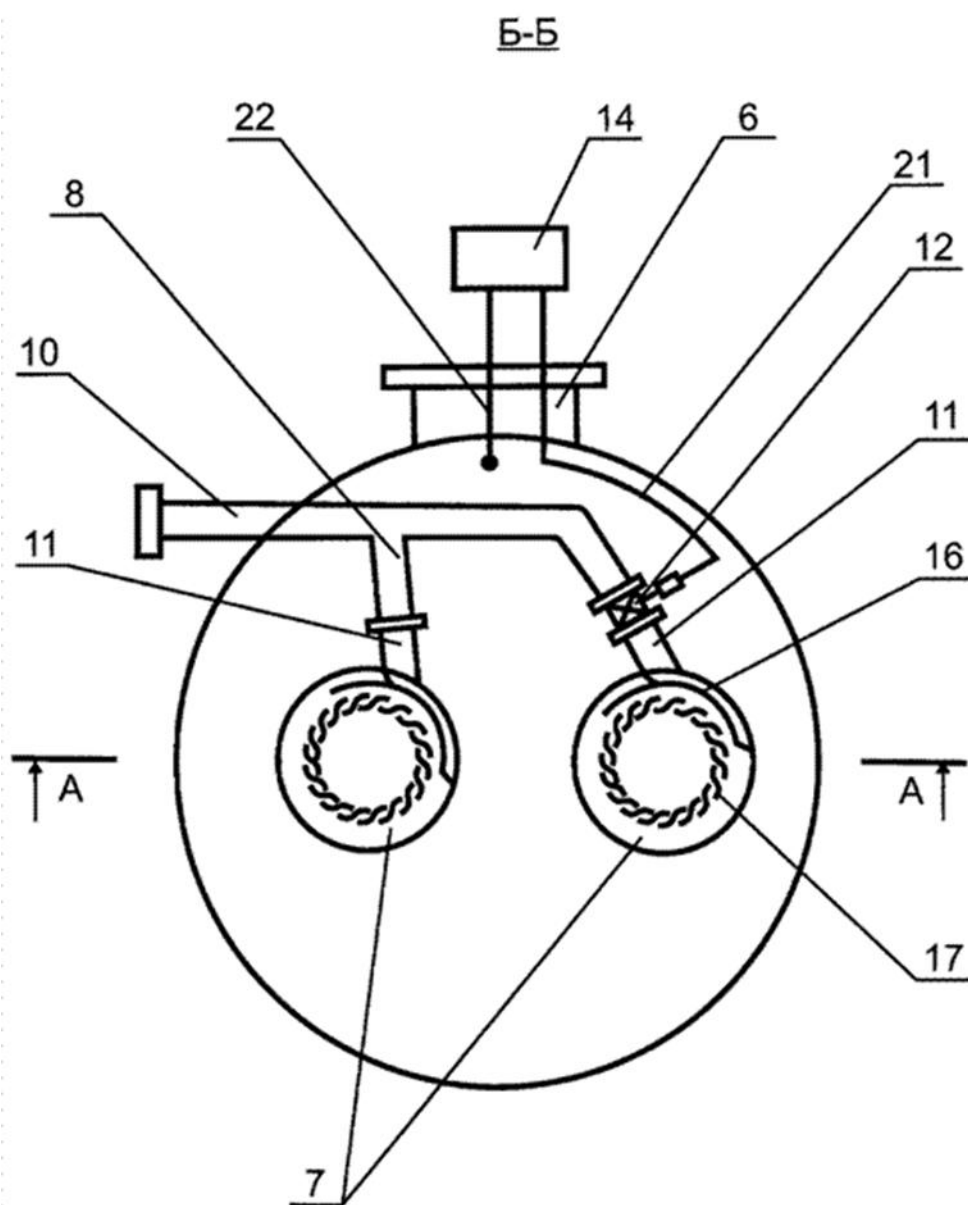


Рисунок 13 – Схема сепаратора поперечный разрез

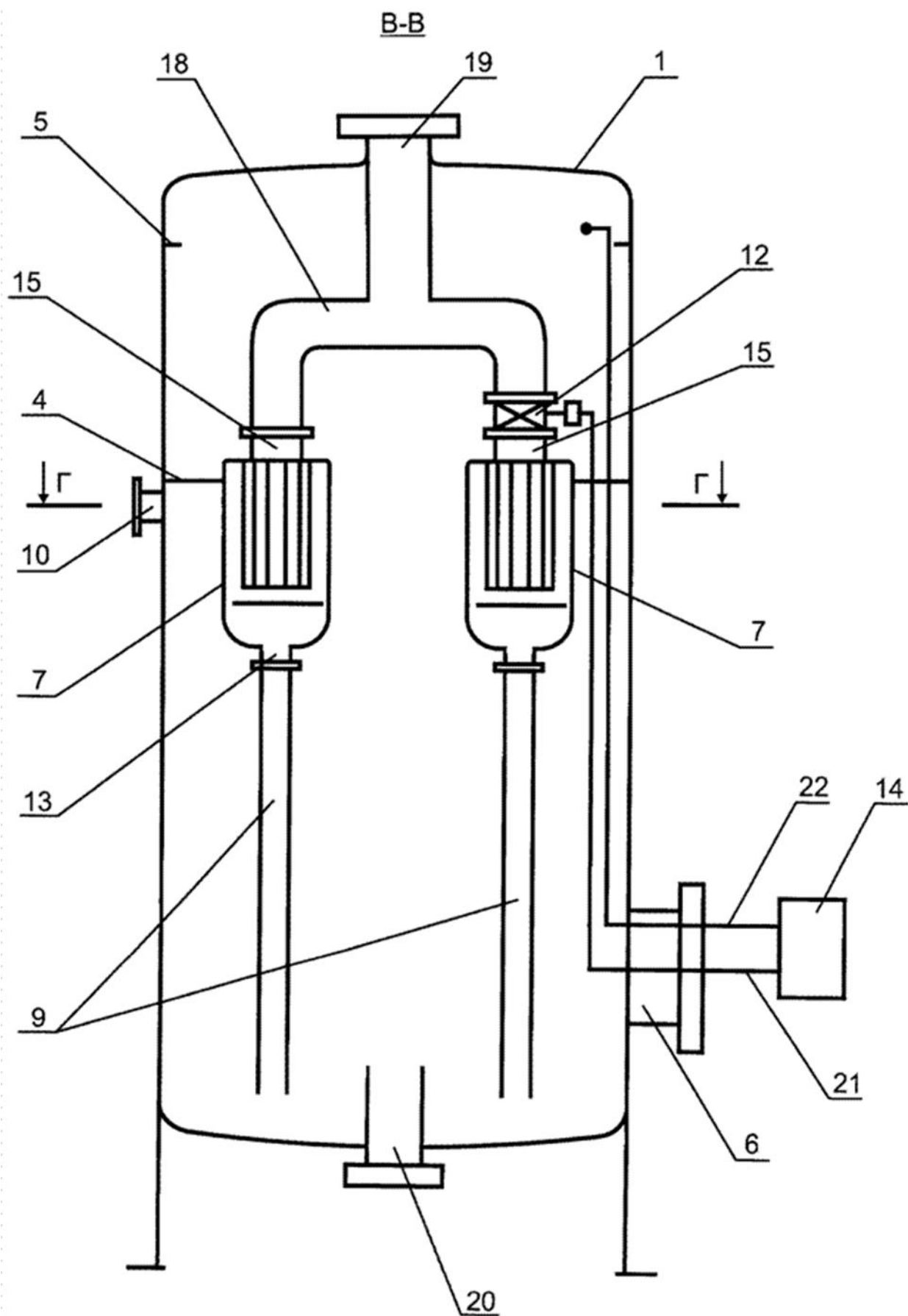


Рисунок 14 Схема сепаратора продольный разрез

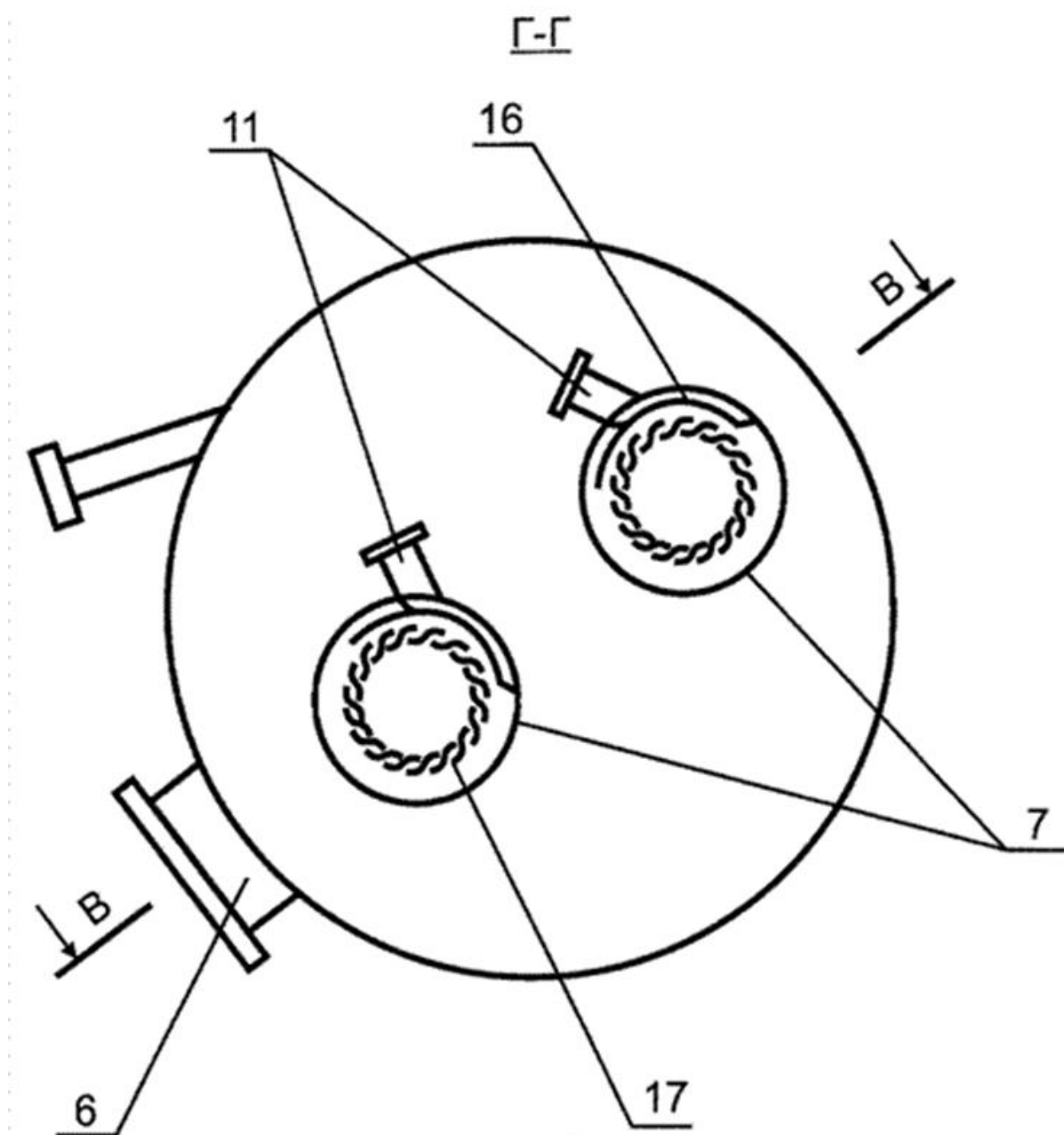


Рисунок 15 Схема сепаратора поперечный разрез, сечение Г-Г рисунка 14

#### Реализация изобретения

Газовый сепарационный узел (рисунок 11) представляет собой сепаратор 1, подключенный к подводящему 2 и отводящему 3 газопроводам.

Способ модернизации сепарационного узла газового по варианту 1 заключается в следующем (рисунок 12, 13).

Во внутреннем пространстве сепаратора 1 демонтируют все конструктивные элементы, за исключением опорных элементов 4. При этом не демонтируют части конструктивных элементов 5, непосредственно закрепленные на корпусе (на внутренней части корпуса) сепаратора 1.

Затем удаляют демонтированные элементы из внутреннего пространства сепаратора 1 через люки-лазы 6.

Через люки-лазы 6 во внутреннее пространство сепаратора 1 помещают, по крайней мере, два сепарационных устройства 7, крепежные балки (не показаны), переходные патрубки 8, дренажные трубы 9.

По крайней мере, на одном из опорных элементов 4 жестко закрепляют крепежные балки, к которым жестко крепят сепарационные устройства 7. Сепарационные устройства 7 выполняют на базе подходящих по размерам и характеристикам эффективности сепарации промышленно выпускаемых вертикальных сепараторов вихревого типа.

Переходными патрубками 8 соединяют входной патрубок 10 сепаратора 1 с входными патрубками 11 сепарационных устройств 7. При этом на входе 11, по крайней мере, одного сепарационного устройства 7 размещают запорный клапан 12.

Дренажными трубами 9 соединяют сливные патрубки 13 сепарационных устройств 7 с областью гидрозатвора в нижней части сепаратора 1.

Внутри или снаружи сепаратора 1 размещают блок управления 14 и соединяют его с запорными клапанами 12. Блок управления 14 выполняют с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Примеры конкретного выполнения способа по варианту 1

Пример 1. Сепаратор 1 выполнен в виде газосепаратора 9 1000-25 с тангенциальным вводом производства Сталинградского завода ТКО им. Петрова. При этом опорные элементы 4 для крепления сепарационных устройств 7 выполнены в виде опорного кольца.

Во внутреннем пространстве сепаратора 1 размещают два сепарационных устройства 7. Сепарационные устройства 7 выполняют на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа, отличающихся от сепаратора 1 гораздо меньшими размерами и большей эффективностью. Каждое сепарационное устройство 7 содержит входной 11, выходной 15 и сливной 13 патрубки. Внутри корпуса сепарационного устройства 7 установлен дефлектор 16, предназначенный для закрутки газожидкостного потока в вихрь, и сепарационный пакет 17, обеспечивающий высокую эффективность очистки газа.

Запорный клапан 12 размещают на входе одного из сепарационных устройств 7.

Пример 2. Во внутреннем пространстве сепаратора 1 размещают четыре сепарационных устройства 7, выполненные на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа.

Запорный клапан 12 размещают на входе трех сепарационных устройств 7.

Пример 3. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполняют сваркой.

Пример 4. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполняют с помощью разъемных креплений.

Пример 5. Герметизацию зазоров между патрубками выполняют в виде резинового уплотнения.

Пример 6. Герметизацию зазоров между патрубками выполняют в виде сальникового уплотнения.

Пример 7. Соединение входного патрубка 10 сепаратора 1 с переходными патрубками 8 выполняют в виде быстросъемного соединения.

Пример 8. Соединение входного патрубка 10 сепаратора 1 с переходными патрубками 8 выполняют в виде фланцевого соединения.

Реализация заявляемого способа по варианту 1 не ограничивается приведенными выше примерами.

В заявляемом способе модернизации сепарационного узла газового по варианту 1 заявляемый технический результат: «расширение диапазона нагрузок сепаратора при сохранении эффективности сепарации», достигается за счет того, что сначала демонтируют конструктивные элементы, находящиеся внутри корпуса сепаратора, и удаляют демонтированные конструктивные элементы из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз. Затем помещают во внутреннее пространство сепаратора, по крайней мере, два сепарационных устройства, переходные патрубки и дренажные трубы. Затем жестко закрепляют сепарационные устройства, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора. Входной патрубок сепаратора с помощью переходных патрубков соединяют с входными патрубками сепарационных устройств. На входе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан. Дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора. Сепаратор снабжают блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Указанный технический результат проявляется при использовании сепарационного узла, модернизированного заявляемым способом.

Способ модернизации сепарационного узла газового по варианту 2 заключается в следующем (рисунок 14, 15).

Во внутреннем пространстве сепаратора 1 демонтируют все конструктивные элементы, за исключением опорных элементов 4. При этом не демонтируют части конструктивных элементов 5, непосредственно закрепленные на корпусе (на внутренней части корпуса) сепаратора 1.

Затем удаляют демонтированные элементы из внутреннего пространства сепаратора 1 через люки-лазы 6.

Через люки-лазы 6 во внутреннее пространство сепаратора 1 помещают, по крайней мере, два сепарационных устройства 7, крепежные балки (не показаны), переходные патрубки 18, дренажные трубы 9.



По крайней мере, на одном из опорных элементов 4 жестко закрепляют крепежные балки, к которым жестко крепят сепарационные устройства 7. Сепарационные устройства 7 выполняют на базе подходящих по размерам и характеристикам эффективности сепарации промышленно выпускаемых вертикальных сепараторов вихревого типа.

Переходными патрубками 18 соединяют выходной патрубок 19 сепаратора 1 с выходными патрубками 15 сепарационных устройств 7. При этом на выходе 15, по крайней мере, одного сепарационного устройства 7 размещают запорный клапан 12.

Дренажными трубами 9 соединяют сливные патрубки 13 сепарационных устройств 7 с областью гидрозатвора в нижней части сепаратора 1.

Внутри или снаружи сепаратора 1 размещают блок управления 14 и соединяют его с запорными клапанами 12. Блок управления 14 выполняют с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Примеры конкретного выполнения способа по варианту 2.

Пример 1.

Сепаратор 1 выполнен в виде газосепаратора 9 1000-25 с тангенциальным вводом производства Сталинградского завода ТКО им. Петрова. При этом опорные элементы 4 для крепления сепарационных устройств 7 выполнены в виде опорного кольца.

Во внутреннем пространстве сепаратора 1 размещают два сепарационных устройства 7. Сепарационные устройства 7 выполняют на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа, отличающихся от сепаратора 1 гораздо меньшими размерами и большей эффективностью. Каждое сепарационное устройство 7 содержит входной 11, выходной 15 и сливной 13 патрубки. Внутри корпуса сепарационного устройства 7 установлен дефлектор 16, предназначенный для закрутки газожидкостного потока в вихрь, и сепарационный пакет 17, обеспечивающий высокую эффективность очистки газа.

Запорный клапан 12 размещают на выходе одного из сепарационных устройств 7.

Пример 2. Во внутреннем пространстве сепаратора 1 размещают четыре сепарационных устройства 7, выполненные на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа.

Запорный клапан 12 размещают на выходе трех сепарационных устройств 7.

Пример 3. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполняют сваркой.

Пример 4. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполняют с помощью разъемных креплений.

Пример 5. Герметизацию зазоров между патрубками выполняют в виде резинового уплотнения.

Пример 6. Герметизацию зазоров между патрубками выполняют в виде сальникового уплотнения.

Пример 7. Соединение выходного патрубка 19 сепаратора 1 с переходными патрубками 18 выполняют в виде быстроразъемного соединения.

Пример 8. Соединение выходного патрубка 19 сепаратора 1 с переходными патрубками 18 выполняют в виде фланцевого соединения.

Реализация заявляемого способа по варианту 2 не ограничивается приведенными выше примерами.

В заявляемом способе модернизации сепарационного узла газового по варианту 2 заявляемый технический результат: «расширение диапазона нагрузок сепаратора при сохранении эффективности сепарации», достигается за счет того, что сначала демонтируют конструктивные элементы, находящиеся внутри корпуса сепаратора, и удаляют демонтированные конструктивные элементы из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз. Затем помещают во внутреннее пространство сепаратора, по крайней мере, два сепарационных устройства, переходные патрубки и дренажные трубы. Затем жестко закрепляют сепарационные устройства, по крайней мере, к одному

опорному элементу сепаратора. Выходной патрубок сепаратора с помощью переходных патрубков соединяют с выходными патрубками сепарационных устройств. На выходе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан. Дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора. Сепаратор снабжают блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Указанный технический результат проявляется при использовании сепарационного узла, модернизированного заявляемым способом по варианту 2.

Сепаратор газовый по варианту 1 (рис. 12, 13) содержит вертикальный корпус с, по крайней мере, одним люком-лазом 6, входной 10, выходной 19 и сливной 20 патрубки. По крайней мере, два сепарационных устройства 7 жестко закреплены, по крайней мере, на одном опорном элементе 4 сепаратора 1 с помощью крепежных балок (не показаны).

Каждое сепарационное устройство 7 содержит входной 11, выходной 15 и сливной 13 патрубки, дефлектор 16, предназначенный для закрутки газожидкостного потока в вихрь, и сепарационный пакет 17, обеспечивающий высокую эффективность очистки газа. Сепарационные устройства 7 выполняют на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа.

Переходными патрубками 8 входной патрубок 10 сепаратора 1 соединен с входными патрубками 11 сепарационных устройств 7. При этом на входе 11, по крайней мере, одного сепарационного устройства 7 размещен запорный клапан 12.

Дренажными трубами 9 сливные патрубки 13 сепарационных устройств 7 соединены с областью гидрозатвора, расположенной в нижней части сепаратора 1.

Сепаратор 1 также содержит блок управления 14, выполненный с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов 12 в зависимости от давления газа внутри сепаратора 1. Блок управления 14 может быть размещен внутри или снаружи сепаратора 1.

Примеры конкретного выполнения сепаратора по варианту 1

Пример 1. Опорные элементы 4 для крепления сепарационных устройств 7 выполнены в виде опорного кольца. Сепаратор 1 содержит два сепарационных устройства 7.

Запорный клапан 12 размещен на входе 11 одного из сепарационных устройств 7.

Пример 2. Сепаратор 1 содержит четыре сепарационных устройства 7, выполненные на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа

Запорный клапан 12 размещен на входе 11 трех сепарационных устройств 7.

Пример 3. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполнено сваркой.

Пример 4. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполнено с помощью разъемных креплений.

Пример 5. Герметизация зазоров между патрубками выполнена в виде резинового уплотнения.

Пример 6. Герметизация зазоров между патрубками выполнена в виде сальникового уплотнения.

Пример 7. Соединение входного патрубка 10 сепаратора 1 с переходными патрубками 8 выполнено в виде быстразъемного соединения.

Пример 8. Соединение входного патрубка 10 сепаратора с переходным патрубками 8 выполнено в виде фланцевого соединения.

Пример 9. Соединительные трубы 21 гидравлически связывают запорные клапаны 12 с блоком управления 14, размещенным за пределами сепаратора 1.

Для отбора импульсного газа дополнительная соединительная трубка 22 гидравлически соединяет внутреннюю область сепаратора 1 с блоком управления 14.

Пример 10. Снаружи сепаратора 1 размещен датчик давления, гидравлически связанный с внутренним пространством сепаратора 1. Блок управления 14 электрически связан с датчиком давления и запорными клапанами 12.

Реализация заявляемого сепаратора по варианту 1 не ограничивается приведенными выше примерами.

Заявляемый сепаратор по варианту 1 работает следующим образом.

В начальном состоянии все запорные клапаны 12 на входных патрубках 11 сепарационных устройств 7 закрыты.

Газовый поток, подлежащий осушке и/или очистке, подводится в сепаратор 1 через входной патрубок 10 сепаратора 1, откуда он транспортируется в сепарационные устройства 7 через переходные патрубки 8 и входные патрубки 11 сепарационных устройств 7. При этом газовый поток проходит только в те сепарационные устройства 7, на входном патрубке 11 которых не установлен запорный клапан 12.

В сепарационных устройствах 7 происходит отделение из газового потока частиц механической примесей, а также мелкодисперсных и аэрозольных частиц жидкости.

Очищенный газ выходит из выходных патрубков 15 сепарационных устройств 7 и транспортируется к выходному патрубку 19 сепаратора 1, через который он выводится из сепаратора 1.

В зависимости от давления газа внутри сепаратора 1 блок управления 14 производит открытие или закрытие запорных клапанов 12.

Если давление внутри сепаратора 1 превышает максимально допустимое значение, при котором сохраняется эффективность совместной сепарации активными сепарационными устройствами 7 (сепарационными устройствами 7, в которые проходит газожидкостный поток со входа 10 в сепаратор 1), то блок

управления 14 открывает один или несколько ранее закрытых запорных клапанов 12. При этом газовый поток, подлежащий осушке и/или очистке, начинает поступать в сепарационные устройства 7, запорные клапаны 12 на входных патрубках 11 которых стали открыты, нагрузка на каждое в отдельности сепарационное устройство 7 уменьшается так, что режим его работы становится допустимым (при установившейся производительности обеспечивается расчетная эффективность сепарации).

Если давление внутри сепаратора 1 становится ниже минимально допустимого значения, при котором сохраняется эффективность совместной сепарации активными сепарационными устройствами 7, то блок управления 14 закрывает один или несколько ранее открытых запорных клапанов 12. При этом прекращается подача газового потока, подлежащего осушке и/или очистке, в сепарационные устройства 7, запорные клапаны 12 на входных патрубках 11 которых стали закрыты.

Отсепарированные жидкость и механические примеси под действием силы тяжести выходят из сепарационных устройств 7 через сливные патрубки 13 и по дренажным трубам 9 попадают в область гидрозатвора в нижней части сепаратора 1. Из нижней части жидкость и примеси периодически выводятся за пределы сепаратора 1 через его сливной патрубок 20.

В заявляемом газовом сепараторе по варианту 1 заявляемый технический результат: «расширение диапазона нагрузок сепаратора при сохранении эффективности сепарации», достигается за счет того, что сепаратор содержит корпус, входной, выходной, сливной патрубки, по крайней мере, два сепарационных устройства, содержащих вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки. При этом входной патрубок сепаратора соединен с входными патрубками сепарационных устройств. При этом на входном патрубке, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещен запорный клапан. При этом сливные патрубки всех сепарационных устройств соединены дренажными трубами с областью гидрозатвора. При этом сепаратор дополнительно содержит блок управления, выполненный с возможностью

открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Сепаратор газовый по варианту 2 (рис. 14, 15) содержит вертикальный корпус с, по крайней мере, одним люком-лазом 6, входной 10, выходной 19 и сливной 20 патрубки. По крайней мере, два сепарационных устройства 7 жестко закреплены, по крайней мере, на одном опорном элементе 4 сепаратора с помощью крепежных балок (не показаны).

Каждое сепарационное устройство 7 содержит входной 11, выходной 15 и сливной 13 патрубки, дефлектор 16, предназначенный для закрутки газожидкостного потока в вихрь, и сепарационный пакет 17, обеспечивающий высокую эффективность очистки газа. Сепарационные устройства 7 выполняют на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа.

Переходными патрубками 18 выходной патрубков 19 сепаратора 1 соединен с выходными патрубками 15 сепарационных устройств 7. При этом на выходе 15, по крайней мере, одного сепарационного устройства 7 размещен запорный клапан 12.

Дренажными трубами 9 сливные патрубки 13 сепарационных устройств 7 соединены с областью гидрозатвора, расположенной в нижней части сепаратора 1.

Сепаратор также содержит блок управления 14, выполненный с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов 12 в зависимости от давления газа внутри сепаратора 1. Блок управления 14 может быть размещен внутри или снаружи сепаратора 1.

Примеры конкретного выполнения сепаратора по варианту 2.

Пример 1. Опорные элементы 4 для крепления сепарационных устройств 7 выполнены в виде опорного кольца. Сепаратор 1 содержит два сепарационных устройства 7.

Запорный клапан 12 размещен на выходе 15 одного из сепарационных устройств 7.

Пример 2. Сепаратор 1 содержит четыре сепарационных устройства 7, выполненные на базе малогабаритных высокоэффективных вертикальных сепараторов вихревого типа

Запорный клапан 12 размещен на выходе 15 трех сепарационных устройств 7.

Пример 3, Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполнено сваркой.

Пример 4. Крепление сепарационных устройств 7 к опорному элементу 4 выполнено с помощью разъемных креплений.

Пример 5. Герметизация зазоров между патрубками выполнена в виде резинового уплотнения.

Пример 6. Герметизация зазоров между патрубками выполнена в виде сальникового уплотнения.

Пример 7. Соединение выходного патрубка 15 сепаратора 1 с переходными патрубками 18 выполнено в виде быстросъемного соединения.

Пример 8. Соединение выходного патрубка 15 сепаратора 1 с переходными патрубками 18 выполнено в виде фланцевого соединения.

Пример 9. Соединительные трубы 21 гидравлически связывают запорные клапаны 12 с блоком управления 14, размещенным за пределами сепаратора 1.

Для отбора импульсного газа дополнительная соединительная трубка 22 гидравлически соединяет внутреннюю область сепаратора 1 с блоком управления 14.

Пример 10. Снаружи сепаратора 1 размещен датчик давления, гидравлически связанный с внутренним пространством сепаратора 1. Блок управления 14 электрически связан с датчиком давления и запорными клапанами 12.

Реализация заявляемого сепаратора по варианту 2 не ограничивается приведенными выше примерами.

Заявляемый сепаратор по варианту 2 работает следующим образом.



В начальном состоянии все запорные клапаны 12 на выходных патрубках 15 сепарационных устройств 7 закрыты.

Газовый поток, подлежащий осушке и/или очистке, подводится в сепаратор 1 через входной патрубок 10 сепаратора 1, откуда он транспортируется в сепарационные устройства 7 через входные патрубки 11 сепарационных устройств 7. При этом газовый поток проходит только в те сепарационные устройства 7, на выходном патрубке 15 которых не установлен запорный клапан 12.

В сепарационных устройствах 7 происходит отделение из газового потока частиц механической примесей, а также мелкодисперсных и аэрозольных частиц жидкости.

Очищенный газ выходит из выходных патрубков 15 сепарационных устройств 7 и по переходным патрубкам 18 транспортируется к выходному патрубку 19 сепаратора 1, через который он выводится из сепаратора 1.

В зависимости от давления газа внутри сепаратора 1 блок управления 14 производит открытие или закрытие запорных клапанов 12.

Если давление внутри сепаратора 1 превышает максимально допустимое значение, при котором сохраняется эффективность совместной сепарации активными сепарационными устройствами 7 (сепарационными устройствами 7, в которые проходит газожидкостный поток со входа 10 в сепаратор 1), то блок управления 14 открывает один или несколько ранее закрытых запорных клапанов 12. При этом газовый поток, подлежащий осушке и/или очистке, начинает поступать в сепарационные устройства 7, запорные клапаны 12 на выходных патрубках 15 которых стали открыты. Нагрузка на каждое в отдельности сепарационное устройство 7 уменьшается так, что режим его работы становится допустимым (при установившейся производительности обеспечивается расчетная эффективность сепарации).

Если давление внутри сепаратора 1 становится ниже минимально допустимого значения, при котором сохраняется эффективность совместной сепарации активными сепарационными устройствами 7, то блок управления 14

закрывает один или несколько ранее открытых запорных клапанов 12. При этом прекращается подача газового потока, подлежащего осушке и/или очистке, в сепарационные устройства 7, запорные клапаны 12 на выходных патрубках 15 которых стали закрыты.

Отсепарированные жидкость и механические примеси под действием силы тяжести выходят из сепарационных устройств 7 через сливные патрубки 13 и по дренажным трубам 9 попадают в область гидрозатвора в нижней части сепаратора. Из нижней части жидкость и примеси периодически выводятся за пределы сепаратора через его сливной патрубок 20.

В заявляемом газовом сепараторе по варианту 2 заявляемый технический результат: «расширение диапазона нагрузок сепаратора при сохранении эффективности сепарации», достигается за счет того, что сепаратор содержит корпус, входной, выходной, сливной патрубки, по крайней мере, два сепарационных устройства, содержащих вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки. При этом выходной патрубок сепаратора соединен с выходными патрубками сепарационных устройств. При этом на выходном патрубке, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещен запорный клапан. При этом сливные патрубки всех сепарационных устройств соединены дренажными трубами с областью гидрозатвора. При этом сепаратор дополнительно содержит блок управления, выполненный с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

Промышленная применимость.

Заявляемые способы модернизации сепарационного узла газового и газовые сепараторы реализованы с использованием промышленно выпускаемых инструментов, устройств и материалов и найдут широкое применение в отраслях промышленности, связанных с очисткой и осушкой газов.

Источник информации

1. Патент РФ на изобретение № 2310497, МПК В01D 45/12, В01С 5/00, 2007.

#### Формула изобретения

1. Способ модернизации сепарационного узла газового, включающий демонтаж конструктивных элементов, находящихся внутри корпуса сепаратора, удаление демонтированных конструктивных элементов из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз, помещение во внутреннее пространство сепаратора первого сепарационного устройства и переходных патрубков, жесткое закрепление первого сепарационного устройства, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора, соединение с помощью переходного патрубка входного патрубка сепаратора с входным патрубком первого сепарационного устройства, отличающийся тем, что во внутреннее пространство сепаратора дополнительно помещают дренажные трубы и N дополнительных сепарационных устройств, которые жестко закрепляют, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора, с помощью переходных патрубков соединяют входной патрубок сепаратора с входными патрубками N дополнительных сепарационных устройств, на входе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан, дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора и снабжают сепаратор блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что количество N дополнительных сепарационных устройств равно одному или трем.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что каждое сепарационное устройство выполняют на базе малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, содержащего входной, выходной и сливной патрубки, дефлектор и сепарационный пакет.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что блок управления размещают внутри или снаружи сепаратора.

5. Способ модернизации сепарационного узла газового, включающий демонтаж конструктивных элементов, находящихся внутри корпуса сепаратора, удаление демонтированных конструктивных элементов из внутреннего пространства сепаратора через люк-лаз, помещение во внутреннее пространство сепаратора первого сепарационного устройства и переходных патрубков, жесткое закрепление первого сепарационного устройства, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора, соединение с помощью переходного патрубка выходного патрубка сепаратора с выходным патрубком первого сепарационного устройства, отличающийся тем, что во внутреннее пространство сепаратора дополнительно помещают дренажные трубы и N дополнительных сепарационных устройств, которые жестко закрепляют, по крайней мере, к одному опорному элементу сепаратора, с помощью переходных патрубков соединяют выходной патрубок сепаратора с выходными патрубками N дополнительных сепарационных устройств, на выходе, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещают запорный клапан, дренажными трубами соединяют сливные патрубки всех сепарационных устройств с областью гидрозатвора и снабжают сепаратор блоком управления, выполненным с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что количество N дополнительных сепарационных устройств равно одному или трем.

7. Способ по п.5, отличающийся тем, что каждое сепарационное устройство выполняют на базе малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, содержащего входной, выходной и сливной патрубки, дефлектор и сепарационный пакет.

8. Способ по п.5, отличающийся тем, что блок управления размещают внутри или снаружи сепаратора.

9. Сепаратор газовый, содержащий корпус, входной, выходной, сливной патрубки, первое сепарационное устройство, содержащее вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки, при этом входной патрубок сепаратора соединен с входным патрубком первого сепарационного устройства, отличающийся тем, что сепаратор дополнительно содержит N дополнительных сепарационных устройств, каждое из которых содержит вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки, при этом входной патрубок сепаратора соединен с входными патрубками N дополнительных сепарационных устройств, причем на входном патрубке, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещен запорный клапан, сливные патрубки всех сепарационных устройств соединены дренажными трубами с областью гидрозатвора, а сепаратор дополнительно содержит блок управления, выполненный с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

10. Сепаратор по п.9, отличающийся тем, что количество N дополнительных сепарационных устройств равно одному или трем.

11. Сепаратор по п.9, отличающийся тем, что каждое сепарационное устройство выполнено в виде малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, дополнительно содержащего дефлектор и сепарационный пакет.

12. Сепаратор по п.9, отличающийся тем, что блок управления размещен внутри или снаружи сепаратора.

13. Сепаратор по п.9, отличающийся тем, что запорные клапаны и внутреннее пространство сепаратора гидравлически соединены с блоком управления с помощью соединительных трубок.

14. Сепаратор по п.9, отличающийся тем, что блок управления размещен снаружи сепаратора и электрически связан с запорными клапанами и датчиком давления, который размещен внутри или снаружи сепаратора и гидравлически связан с внутренним пространством сепаратора.

15. Сепаратор газовый, содержащий корпус, входной, выходной, сливной патрубки, первое сепарационное устройство, содержащее вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки, при этом выходной патрубков сепаратора соединен с выходным патрубком первого сепарационного устройства, отличающийся тем, что сепаратор дополнительно содержит  $N$  дополнительных сепарационных устройств ( $N \geq 1$ ), каждое из которых содержит вертикальный корпус, входной, выходной, сливной патрубки, при этом выходной патрубков сепаратора соединен с выходными патрубками  $N$  дополнительных сепарационных устройств, причем на выходном патрубке, по крайней мере, одного сепарационного устройства размещен запорный клапан, при этом сливные патрубки всех сепарационных устройств соединены дренажными трубами с областью гидрозатвора, а сепаратор дополнительно содержит блок управления, выполненный с возможностью открытия/закрытия запорных клапанов в зависимости от давления газа внутри сепаратора.

16. Сепаратор по п.15, отличающийся тем, что количество  $N$  дополнительных сепарационных устройств равно одному или трем.

17. Сепаратор по п.15, отличающийся тем, что каждое сепарационное устройство выполнено в виде малогабаритного вертикального сепаратора вихревого типа, дополнительно содержащего дефлектор и сепарационный пакет.

18. Сепаратор по п.15, отличающийся тем, что блок управления размещен внутри или снаружи сепаратора.

19. Сепаратор по п.15, отличающийся тем, что запорные клапаны и внутреннее пространство сепаратора гидравлически соединены с блоком управления с помощью соединительных трубок.

20. Сепаратор по п.15, отличающийся тем, что блок управления размещен снаружи сепаратора и электрически связан с запорными клапанами и датчиком давления, который размещен внутри или снаружи сепаратора и гидравлически связан с внутренним пространством сепаратора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате научно – исследовательской работы было выполнено исследование систем очистного оборудования применяемого на предприятии. В ходе исследования сделан вывод, что существующие системы очистки не обеспечивают качественную очистку атмосферного воздуха отводимого от технологического оборудования. Использование устаревших технологий и изношенного парка технологического оборудования увеличивает количество выбросов в атмосферу, что неблагоприятно воздействует на окружающую среду. Были выбраны мероприятия позволяющие снизить выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух от технологического оборудования. Установлена дополнительная (вторая) ступень очистки газов выбрасываемых в атмосферный воздух, при помощи матерчатых фильтров. Таким образом коэффициент очистки газов от мелкодисперсной пыли достигает до 99, что снижает уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горина, Л. Н. Управление безопасностью труда [Текст]: учеб. пособие / Л. Н. Горина, Т. Ю. Фрезе ; ТГУ ; Автомех. ин-т ; каф. "Управление пром. и экол. безопасностью". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2010. - 185 с. ил. - Прил.: с. 157-183. - 42-91.
2. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 21.07.2014) "Об охране атмосферного воздуха".
3. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 24.11.2014) "Об охране окружающей среды".
4. ГОСТ 17.2.1.04-77 Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения.
5. Stephan E.W., Industrial Health, Safety and Environmental Management, [Текст] MV Wissenschaft, Muenster, 302 edition 2012,
6. ГОСТ 17.2.1.01-76 Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу.
7. Hamid, R.O. "Occupational and Environmental Safety Engineering and Management", [Текст] 133 Van Norstrand Reinhold Company, New York (1990)
8. ПЭУ 84 «Правила эксплуатации установок очистки газа».
9. Паспорт установки очистки газа СИОТ 3
10. Паспорт установки очистки газа Ц-5
11. Безопасность жизнедеятельности в энергетике.
12. Catalysis, B.F.: Environmental, [Текст] МС 205.
13. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
14. Charles, E.T. Process Technology Equipment and Systems [Текст] 3rd Edition
15. Белова, С.В. Охрана окружающей среды [Текст]: под редакцией – М.: высш.шк.



16. Экология производства – Научно практический журнал.
17. Gayle, W.A. Environmental, Safety, and Health Engineering [Текст]: 105st Edition.
18. Экология и промышленность России – Российская академия наук.
19. Ливчак, И.Ф. Охрана окружающей среды [Текст]: учебник
20. ГОСТ Р 17.0.0.06 – 2000. Охрана природы. Экологический паспорт природопользователя. Основные положения. Типовые формы.
21. ГОСТ Р ИСО 14001 – 2007. Системы экологического менеджмента.
22. Большаков, В.Н. Экология [Текст]: учебник, 2013.— 504 с.
23. Вартанов, А.З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг [Текст]: учебное пособие: Горная книга, 2009г.
24. Вернигорова, В.Н. Химия загрязняющих веществ и экология [Текст]: монография: Палеотип, 2005.— 240 с.
25. Ветошкин, А.Г. Основы процессов техногенной экологии. Теория, примеры, задачи [Текст]: учебное пособие - СПб. Издательство «Лань», 2014.
26. Гвоздовский, В.И. Промышленная экология. Часть 1. Природные и техногенные системы [Текст]: учебное пособие.
27. Дроздов, В.В. Общая экология [Текст]: учебное пособие.
28. Зайцев, В.А. Промышленная экология [Текст]: – Издательство «Бином. Лаборатория знаний».
29. Колесников, С.И. Экологические основы природопользования [Текст]: Учебник - 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация.
30. Кормилицын, В.И. и др. Основы экологии [Текст]: ИНТЕРСТИЛЬ, 1997.
31. Коробко, В.И. Экологический менеджмент [Текст]: учебное пособие — М.: ЮНИТИ-ДАНА
32. Цветкова, Л.И. Экология [Текст]: Учебник для студентов высш. и сред. учеб. заведений, обуч. по техн. спец. и направлениям.

33. Чернова, Н.М. Общая экология [Текст]: Дрофа, 2008.-416 с. Допущено Минобр. РФ в качестве учебника для студентов высших учебных заведений.
34. Стадницкий, Г.В. Экология [Текст]: Уч. пособие для студ. химико-технол. и техн. сп. вузов. - 4-е изд., испр. – СПб.: Химия, 2007. -238с. Рекомендован Минобр. РФ в качестве учебника для студентов вузов.
35. Голицын, А.Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды [Текст]: учебник.
36. Трушина, Т.П. Экологические основы природопользования [Текст]: - М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К"
37. 32. Протасов, В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России [Текст]: учебное и справочное пособие для вузов - М.: Финансы и статистика.
38. [http://www1.fips.ru/fips\\_serv1/fips\\_servlet](http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet), патент № 144086 [Электронный ресурс]
39. Русанова, А. А. Справочник по пыле- и золоулавливанию [Текст]: под ред.. – М. : Энергоатомиздат, 1983
40. Родионов, А. И. Оборудование и сооружения для защиты биосферы от промышленных выбросов [Текст]: учебное пособие для вузов [и др.]. – М. : Химия, 1985г.
41. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов от пыли [Текст]: М. ИНФРА-М, 1981г.
42. Зиганшин, М. Г. Проектирование аппаратов пылегазоочистки [Текст]: – М. : Экопресс-3М, 1998г.
43. Трифонова, Т. А. Прикладная экология [Текст] : учебное пособие для вузов – М. : Академический проект : Традиция, 2005г.
44. Степановских, А.С. Прикладная экология [Текст]: охрана окружающей среды : учебник для вузов – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005г.