

66
П 27
БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ПЕРМИНОВ Евгений Викторович

66.074.2(043.3)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ
ПЫЛИ И ЖИДКОСТИ

(05.17.08 - Процессы и аппараты химической
технологии)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1979

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте
им. С.М.Кирова.

Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук
ШЕХОВ И.М.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических
наук АСТАХОВ В.А.,

доцент, кандидат технических
наук ИСАКОВ В.П.

Ведущее предприятие: Украинский научно-исследовательский
институт природных газов (УкрНИИГАЗ, г.Харьков)

Защита состоится "14" марта 1979 г. в 10⁰⁰ ча-
сов на заседании специализированного совета К 056.01.03 по
присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском тех-
нологическом институте им.С.М.Кирова (220630, г.Минск,
ул.Свердлова, 13а).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорус-
ского технологического института им.С.М.Кирова.

Автореферат разослан "29" января 1979 года.

Ученый секретарь
специализированного совета,
к.х.н., с.н.с.

ДЗЮБА Б.Д.

Актуальность проблемы. Процесс очистки газа от взвешенных примесей широко практикуется в самых различных отраслях промышленности. В тех случаях, когда продукты, уносимые с отходящими газами, представляют собой ценные материалы, их утилизация может заметно снизить расход сырья и реагентов, а также себестоимость выпускаемой продукции. Очистка газов часто бывает необходимой для предупреждения загрязнения продуктов, засорения различных катализаторов, технологических трубопроводов и аппаратуры. Промышленные выбросы наносят колоссальный вред окружающей среде. Вопросы охраны природы, бережного использования и воспроизводства ее ресурсов подняты сейчас на уровень первостепенных задач нашего государства. Наряду с созданием совершенных технологических процессов и систем, модернизацией существующего оборудования, важнейшей задачей в этой области следует считать разработку высокоэффективных методов и аппаратов для очистки газов от примесей.

5221 ар

Способы очистки газов от механических примесей и их конструктивное оформление чрезвычайно разнообразны. Весьма перспективным направлением является использование центробежных сепарационных устройств прямооточного типа, обладающих малым гидравлическим сопротивлением и, как следствие, высокой производительностью, что особенно важно для современных установок большой единичной мощности. Однако широкое их применение ограничивается недостаточно высокой эффективностью очистки газа. Разработка и исследование устройств этого типа направлены на повышение степени улавливания примесей.

Цель работы. 1. Разработка высокоэффективного прямооточного пылевлагоуловителя.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование эффективности улавливания с целью разработки рекомендаций по расчету промышленного аппарата.

3. Промышленное внедрение разработанной конструкции для очистки газа от пыли и жидкости.

Научная новизна. Выполнен математический анализ процесса центробежной сепарации и получена аналитическая зависимость для определения времени сепарации частиц с учетом реального профиля тангенциальной скорости газа.

Разработан высокоэффективный прямооточный пылевлагоуловитель циклонного типа для очистки технологических, отходящих

и природных газов от пыли и жидкости. Исследована эффективность его работы.

Оптимизация геометрии разработанной конструкции проведена с применением методов математического планирования эксперимента. Определены режимы высокoeffективной сепарации пыли и жидкости и получены уравнения регрессии, адекватные по критерию Фишера для 5%-ного уровня значимости.

Получены авторские свидетельства СССР на изобретения "Устройство для очистки газа" № 584894, "Прямоточно-центробежный сепаратор" № 598624, "Прямоточный батарейный сепаратор" № 626809.

Практическая ценность. По результатам работы разработан технический проект центробежного пылеуловителя производительностью 20 млн м^3 /сутки для очистки природного газа от пыли и конденсата перед его дальним транспортом. Аппарат изготавливается Волгоградским заводом нефтяного машиностроения им. Петрова; Опытно-промышленные испытания состоятся в 1979 году и по их результатам будет определена целесообразность создания аппаратов подобного типа большей производительности.

Прямоточный влагоуловитель внедрен на Гродненском производственном объединении "Азот" для очистки газовых смесей от различного рода жидкостей в цехах карбамида, лактама, аммиак-I, аммиак-II, гидроксиламина.

Экономический эффект только от внедрения разработанной конструкции на ППО "Азот" составил 216 тыс.руб.

Апробация работ. Основные положения работы докладывались на: 1) УШ молодежной научно-технической конференции "Научно-технический прогресс в химическом машиностроении" (г. Харьков, 1976 г.); 2) Первой всесоюзной конференции "Современные машины и аппараты химических производств" (г. Чимкент, 1977 г.); 3) Всесоюзной научно-технической конференции молодых геологов (г. Солигорск, 1978 г.); 4) научно-технических конференциях Белорусского технологического института им. С.М. Кирова (1973-1978 гг.).

Публикация. По теме диссертации опубликовано семь статей и получено три авторских свидетельства СССР на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложения.

Работа изложена на 154 страницах машинописного текста, иллюстрирована 51 рисунком на 36 листах, библиография включает 131 наименование из них 19 иностранных.

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СЕПАРАЦИИ

Движение частиц в сепараторе рассмотрено с учетом реального распределения составляющих вектора полной скорости вращающегося газового потока. Изучались наиболее мелкие частицы, движущиеся в ламинарном режиме, т.к. они представляют наибольшую трудность для сепарации. Дифференциальные уравнения, описывающие движение таких частиц, представлены в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 &= -\frac{r}{\tau_v} \\ r\ddot{\varphi} - 2\dot{r}\dot{\varphi} &= -\frac{w_z - v_z}{\tau_v} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

Принимая, что тангенциальная скорость газа описывается уравнением

$$w_z = \frac{C}{r^n} \quad (1.2)$$

а тангенциальная скорость частицы уравнением

$$v_z = \frac{D}{r^x} \quad (1.3)$$

после несложных преобразований второго уравнения системы (1.1) получаем распределение тангенциальной скорости газа, удовлетворяющее выражению (1.3):

$$w_z = \frac{D}{r^x} \left[1 + \frac{\tau_v(x+1-2r^2)}{r} \right] \quad (1.4)$$

Радиальная скорость частицы \ddot{r} определена при решении первого уравнения системы (1.1) для частного случая ($x = -0,5$):

$$\ddot{r} = D^2 \tau_v \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}} \right) \quad (1.5)$$

Тогда

$$r = R_0 + D^2 \tau_v \left[t - \tau_v \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}} \right) \right] \quad (1.6)$$

$$w_z = \frac{D}{r^{-0,5}} \left[1 + \frac{\tau_v(0,5-2r^2)}{r} \right] \quad (1.7)$$

Учитывая, что для мелких частиц величины τ_v и \bar{r} являются очень малыми, а выражение $\frac{\tau_v}{\bar{r}} (0,5-2\bar{r}) \ll 1$ даже при больших \bar{r} , можно записать: $W_z = D\sqrt{\bar{r}}$, т.е. $W_z \approx U_z$, $D = C$, $n \approx x$.

Исходя из того, что при различном характере распределения тангенциальной скорости газа расход его в окружном направлении остается постоянным, равным Q , и учитывая, что скорость газа в точке r_n одинакова как при выражении ее по закону распределения для ядра, так и по закону распределения в периферийной зоне, определено время сепарации частицы на участке $(R - r_n)$:

$$t = \frac{[2R^{1-n} - (1-n)r_n^{1-n}](R^{2n+2} - r_n^{2n+2})}{4Q^2(1-n)\tau_v(2n+2)}, \quad (n \neq \pm 1). \quad (I.8)$$

Из уравнения (I.8) найдено, что минимальное время сепарации частицы достигается при распределении тангенциальной скорости газа по закону: $W_z = C\sqrt[3]{\bar{r}}$. Обработка экспериментальных данных с учетом этого выражения позволила аппроксимировать профиль тангенциальной скорости газа формулой

$\bar{W}_z = 1,45/\bar{r}^{0,58}$ в случае тангенциального завихрителя и формулой $\bar{W}_z = 0,96/\bar{r}^{0,8}$ в случае осевого завихрителя. Полученные формулы справедливы при $I > \bar{r} > 0,2$.

Зная время сепарации и среднерасходную скорость газа, легко определить основные конструктивные соотношения сепаратора. Выражение (I.6) с учетом конструктивных параметров дает возможность определить ожидаемую степень улавливания частиц.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕПАРАТОРОВ

2.1. Исследование прямоточно-центробежных сепарационных элементов

Для определения возможности эффективной сепарации жидкости и пыли в скоростных прямоточно-центробежных элементах проведены исследования различных вариантов одно- и многоэлементных сепараторов. Результаты экспериментов показали, что в режиме нисходящего прямотока фаз эффективность сепарации мало зависит от конструкции завихрителя и в основном определяется условиями сепарации примесей из сепарационного патрубка.

Для качественной очистки газа от жидкости зазор между сепарационным и выхлопным патрубками должен составлять $\delta = 1,5 + 0,5 \cdot D$ мм в зависимости от диаметра. Величину трубы для продувки межэлементного пространства рекомендуется выбирать из условия $F_p / F_{kz} \geq 0,2$, где F_p и F_{kz} - площади поперечного сечения рециркуляционной трубы и кольцевого зазора между сепарационным и выхлопным патрубками.

Сравнение эффективности различных вариантов одно- и многоэлементных сепараторов показало, что наибольшей эффективностью обладают одноэлементные сепараторы как в восходящем, так и в нисходящем режимах. Эффективность многоэлементных сепараторов существенно ниже, из-за наличия вторичного уноса отсепарированных примесей. При этом за работу аппарата в нисходящем потоке большое влияние оказывает точность изготовления узла сепарации. Отклонение сепарационных и выхлопных патрубков от соосности на $1+2$ мм приводит к резкому снижению степени улавливания.

Достаточно высокая эффективность сепарации жидкости ($\eta > 99\%$) в аппаратах с нисходящим потоком достигается при скоростях газа в сепарационном патрубке $W_n \approx 5+12$ м/с. При восходящем потоке этот диапазон составляет $W_n \approx 11+20$ м/с.

При сепарации сухой пыли восходящий поток малоеффективен. Даже при небольшой скорости газа унос пыли составляет 30+40% и более. Огромное влияние на эффективность очистки оказывает вторичный унос пыли. При $W_n > 10$ м/с пыль практически не осаждалась на горизонтальную сепарационную тарелку. Более благоприятны условия сепарации пыли в нисходящем потоке. Однако и в этом случае степень улавливания составляет всего $\eta = 90+96\%$ для одноэлементных и $\eta = 60+90\%$ для многоэлементных сепараторов.

Высокая степень очистки достигнута при сепарации пыли мокрым способом. Условия центробежного улавливания пыли улучшаются благодаря сепарирующему действию жидкостной пленки. Кроме того, облегчается отвод уловленных примесей из корпуса сепаратора. Определено, что при $L/G = 0,1+0,3$ уловленная пыль выводится из сепаратора наиболее полно и не происходит осаждения пыли на внутренней поверхности аппарата.

2.2. Исследование горизонтального сепаратора

Сравнительные исследования горизонтальных прямоточных сепараторов позволили выбрать аппарат, обладающий достаточно высокой степенью улавливания пыли (рис.2.1). Особенностью его является наличие зоны грубой и зоны тонкой очистки газа.

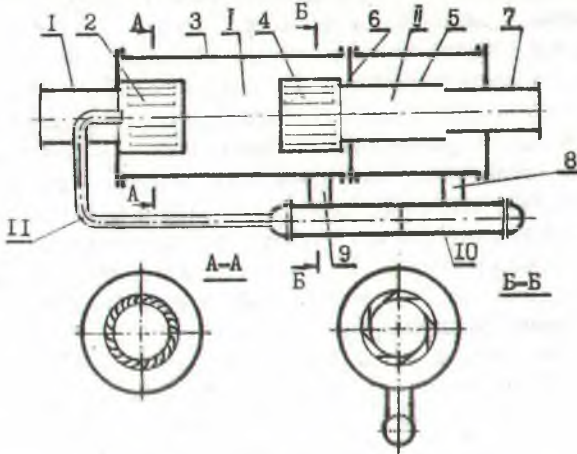


Рис.2.1. Прямоточный сепаратор с двумя зонами очистки
1 - входной патрубок; 2,4 - завихрители; 3 - корпус;
5 - сепарационный патрубок; 6 - перегородка; 7 - вы-
хлопной патрубок; 8,9 - штуцера; 10 - бункер; II - ре-
циркуляционная труба.

I - зона грубой очистки; II - зона тонкой очистки

Газ, содержащий пыль или другие взвешенные в нем примеси, поступает по входному патрубку I и, проходя завихритель 2, закручивается. Под действием центробежной силы частицы отбрасываются к стенке корпуса 3 и транспортируются вдоль нее. Основная часть примесей выводится из аппарата через штуцер 9. Неотсепарировавшиеся примеси вместе с газовым потоком поступают через завихритель 4 в сепарационный патрубок 5, жестко укрепленный в перегородке 6. Процесс сепарации здесь аналогичен описанному, но протекает более интенсивно, т.к. из-за меньшего диаметра центробежный фактор разделения в сепарационном патрубке выше. В результате происходит окончательная очистка газа. Уловленные примеси через кольцевой зазор между

сепарационным 5 и выхлопным 7 патрубками выводятся в корпус и затем через штуцер 8 удаляются из сепаратора. Все отсепарированные примеси собираются в бункере 10, соединенном рециркуляционной трубой 11 с зоной пониженного давления, образующейся в присосовой области аппарата. За счет разности давлений по этой трубе происходит циркуляция газа.

Исследование работы сепаратора проводилось на системах Г-Т, Г-Ж, Г-Ж-Т.

Полученные результаты показывают, что эффективность улавливания жидкости высока и соответствует эффективности прямоточно-центробежных сепарационных элементов ($\eta = 99,8 + 99,9\%$).

Очистка газа от сухой пыли производится с эффективностью, близкой к эффективности противочных циклонов. Степень улавливания частиц более 10 мкм составляет $\eta = 95 + 99,7\%$, а менее 10 мкм - $\eta = 86 + 94\%$.

Очистка газа от влажной пыли при небольшой запыленности ($q = 1 + 10 \text{ г/м}^3$) и весовом соотношении жидкой и газовой фаз $\frac{L}{G} > 0,05 \text{ кг ж/кг г}$ производится так же эффективно, как и от капельной жидкости.

Коэффициент гидравлического сопротивления в расчете на скорость в полном сечении составляет $\xi = 33 + 36$.

Таким образом, можно считать, что разработана конструкция пылеудающего вентеля, обеспечивающая высокоэффективную очистку газа как от жидкости, так и от пыли.

2.3. Исследование полей скоростей

Поля скоростей газового потока в различных конструкциях прямоточных сепараторов исследованы с помощью цилиндрического трехканального ($\emptyset 3 \text{ мм}$) и шарового пятиканального ($\emptyset 5 \text{ мм}$) аэродинамических зондов.

На основании полученных результатов для качественной очистки газа на входе в первую зону сепарации, т.е. на входе в аппарат рекомендуется устанавливать осевой завихритель с безударным входом потока. Угол выхода $\alpha_n = 35 + 40^\circ$. Количество лопастей определяется диаметром аппарата. Чаще всего $n_n = 12 + 24$ шт. Диаметр центральной втулки $d_{в.т.} = (0,2 + 0,3) D_{ан}$. Степень перекрытия лопастей $m = 15 + 20\%$.

В том случае, когда потери напора не играют существенной роли (например, при работе под давлением), целесообразно ис-

пользовать тангенциальный завихритель с изогнутыми лопастями. Угол входа потока $\alpha_{вх} = 60^\circ$, угол выхода $\alpha_{вых} = 10+15^\circ$, $m = 10+15\%$. Суммарная площадь щелей рекомендуется равной площади поперечного сечения сепарационного патрубка.

В качестве завихрителя для второй зоны сепарации следует использовать тангенциальный завихритель с плоскими лопастями.

2.4. Исследование сепарации жидкости

Анализ априорных сведений и данных предварительных экспериментов позволил выбрать 11 факторов, в основном определяющих эффективность сепарации жидкости. Выходными параметрами оптимизации выбрана величина уноса жидкости (ϵ , %) и гидравлическое сопротивление аппарата (ΔP , мм в.ст.). Проведение отсвязывающего эксперимента с использованием насыщенного плана Плэкэт-Бермана и реализация 1/4 реплики от полного факторного эксперимента типа 2^6 позволили отыскать область, близкую к оптимальной. В проведенных опытах величина уноса составляла $\epsilon = 0,03+1,6\%$ при величине гидравлического сопротивления $\Delta P = 135+600$ мм в.ст.

После анализа полученных результатов принято решение зафиксировать факторы, характеризующие конструктивные параметры влагоуловителя, на нулевых уровнях и продолжить исследования с целью отыскания математической модели изучаемого процесса в виде полинома второго порядка, связывающего только два фактора: скорость газа W_n и соотношение фаз L/G . Поскольку варьирование указанными факторами не представляет сложности и нет смысла димитировать число опытов, использован ротационный план Бокса.

Статистическая обработка результатов позволила получить уравнения регрессии ($G_1 = 0,162$; $G_2 = 0,13$ при $G_1^T = 0,273$ и $G_2^T = 0,3732$), которые при натуральных значениях факторов имеют вид:

$$\epsilon = 2,6 - 0,455 W_n - 8,955 \frac{L}{G} + 0,9 W_n \frac{L}{G} + 0,0175 W_n^2 + 5,2 \left(\frac{L}{G}\right)^2 \quad (2.1)$$

$$\Delta P = -451,8 + 76,25 W_n - 172 \frac{L}{G} + 62,5 W_n \frac{L}{G} - 375 \left(\frac{L}{G}\right)^2 \quad (2.2)$$

Полученные уравнения справедливы при $W_n = 7+13$ м/с и $L/G = 0,0586+0,3414$.

При 5%-ном уровне значимости эти уравнения адекватно по критерию Фишера описывают изучаемый процесс ($F_1 = 1,66$; $F_2 = 0,25$ при $F_1^* = 2,79$ и $F_2^* = 2,98$).

2.5. Исследование сепарации пыли

Большое число экспериментов, проведенных методом Гаусса-Зейделя, позволило определить конструкцию аппарата, имеющего степень улавливания пыли $\eta = 98,0+99,7\%$ при изменении скорости газа в диапазоне $W_{\text{ДП}} = 1+9$ м/с. Аналогичная эффективность в противоточных циклонах достигается при скорости не более 4,5 м/с. Учитывая близость области оптимума, для получения математической модели процесса использовано ретативное планирование второго порядка. За параметр оптимизации принята величина уноса пыли (e , %).

После статистической обработки результатов опытов для натуральных значений факторов получено следующее уравнение регрессии ($C_{0n} = 0,153$; $C_r = 0,196$):

$$e = 4,578 - 0,96 W_n + 0,1076 d_n - 0,0564 d_z + 0,048 W_n^2 - 0,00135 d_n^2 + 0,00048 d_z^2 \quad (2.3)$$

В исследованном интервале варьирования факторов ($W_n = 8+12$ м/с, $d_n = 25+45^\circ$, $d_z = 20+60$ мкм) это уравнение адекватно по критерию Фишера для 5%-ного уровня значимости описывает область эффективной сепарации пыли ($F_{0n} = 1,47$; $F_r = 1,7$).

2.6. Выбор оптимальной конструкции влагоуловителя

Для выявления конструкции, обладающей максимальной эффективностью при минимальном гидравлическом сопротивлении, исследованы сепараторы, представленные на рис.2.2. Реализован план эксперимента типа латинского квадрата размером 4×4 . В качестве переменных факторов приняты: скорость газа в расчете на полное сечение ($W_{\text{ДП}}$, м/с), соотношение жидкой и газовой фаз (L/G , кг ж/кг г), конструкция сепараторов. Поскольку один из факторов — конструкция сепараторов — качественный, то выбранный тип плана является наиболее целесообразным. План эксперимента и полученные данные представлены в таблице 2.1.

Буквами обозначена конструкция сепараторов. Первое число под буквой показывает величину уноса, второе — гидравлическое сопротивление, уменьшенное на 200.

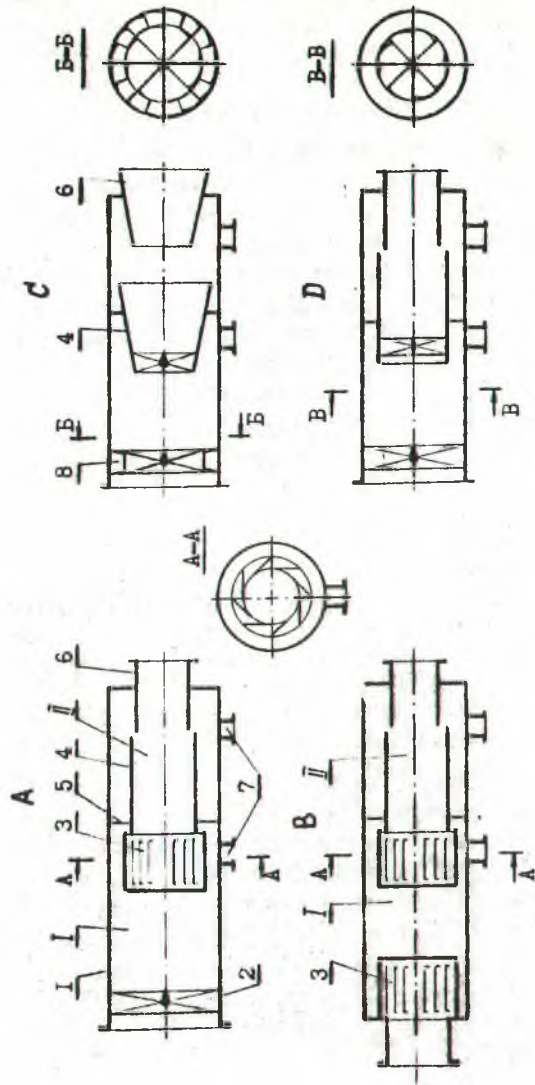


Рис.2.2. Прямоугольные сепараторы

1 - корпус; 2 - осевой закрыватель; 3 - тангенциальный закрыватель; 4 - сепарационный патрубок; 5 - перегородка; 6 - газостоящий патрубок; 7 - бункер; 8 - зонный осевой закрыватель; I - первая сепарационная камера; II - вторая сепарационная камера.

Таблица 2.1

Латинский квадрат и полученные результаты

Соотношение фаз, $\frac{L}{G}$ кг ж/кг г	Скорость газа, $W_{ДП}$ м/с				X'_j
	10	8	6	4	
0,15	A	B	C	D	3,26 -155
	1,65	0,75	0,84	0,02	
0,125	B	C	D	A	8,095 -198
	2,31	5,60	0,025	0,16	
0,100	C	D	A	B	7,32 -321
	7,14	0,12	0,05	0,01	
0,075	D	A	B	C	1,227 -233
	0,44	0,18	0,007	0,06	
X_i	11,54	6,65	0,922	0,79	$\sum_{i=1}^k X_i = \sum_{j=1}^k X'_j = 93,902$ $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k X_{ij} = -907$
	275	-133	-420	-629	
$\sum_{i=1}^k x_{ij}^2$	51,2318	31,9693	0,7087	0,3861	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 = 92,2959$ $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k x_{ij}^2 = 205431$
	44025	4549	47350	99507	

Опытное значение критерия Фишера, определенное по отношению дисперсии, связанной с различием в конструкции $S_{ДП}^2$, к дисперсии воспроизводимости S_0^2 для уноса равно $F_1 = 5,52$, для гидравлического сопротивления $F_2 = 9,05$. Поскольку табличное значение равно $F_T = 4,8$, то различие в конструкции следует считать значимым.

Исследование средних значений параметров оптимизации с помощью множественного рангового критерия Дункана показало, что аппарат конструкции D при минимальном возможном гидравлическом сопротивлении обладает наибольшей эффективностью.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Центральным конструкторским бюро нефтеаппаратуры Министерства химического и нефтяного машиностроения СССР (ЦКБН), на основании результатов наших исследований, выполнен проект

центробежного пылеуловителя производительностью 20 млн м^3 /сутки для очистки природного газа от пыли и конденсата перед его дальним транспортом (ГП 373.00.000). Пылеуловитель намечен к установке перед компрессорными станциями магистральных газопроводов взамен мультициклонного пылеуловителя ЦКБН (ГП 106.00.000) с элементами ЦН-15. По своим технико-экономическим показателям прямоотчий центробежный пылеуловитель соответствует современным требованиям действующих стандартов и технических условий. Аппарат изготавливается на Волгоградском заводе нефтяного машиностроения им.Петрова. Опытно-промышленные испытания состоятся в 1979 году и на их основании будет определена целесообразность разработки подобных устройств большей производительности.

Разработанная конструкция использована в технологических процессах Гродненского ПО "Азот" для очистки газовых смесей от различного рода жидкостей.

Применение прямоотчного циклонного влагоуловителя на установке переработки кубового лактама позволило извлекать из кубовых остатков лактам высокого качества и направлять его, минуя стадии экстракции, ионообмена и ректификации, на диостиляцию. Улучшилось качество лактама по таким показателям, как окраска, оптическая плотность, перманганатное число и тем самым улучшилось качество готового продукта - капролактама.

Внедрение влагоуловителя на линии подачи природного газа в конвертеры метана дало возможность производить глубокую очистку газа от газового конденсата и компрессорного масла, что привело к снижению образования сажи в конвертере метана и тем самым позволило повысить активность каталитической массы. Устранено возрастание гидравлического сопротивления из-за засорения катализатора сажей, увеличился межремонтный пробег технологического оборудования, т.е. улучшились условия ведения технологического процесса.

Внедрение разработанной конструкции для очистки технологического воздуха от капель компрессорного масла и влаги при подаче компрессором под давлением 160 атм в блок низкотемпературного разделения позволило производить замену алюмогеля в адсорберах, установленных по проекту на линии от компрессора до блока разделения, один раз в полгода, вместо ежемесячных.

Использование влагоуловителя для очистки соковых паров после I-ой ступени выпарки от капель карбамида привело к снижению его содержания в соковом конденсате с 5,1 до 0,6 г/кг конденсата. В результате увеличилась производительность установки гидролиза, снизились потери тепла на гидролиз.

Применение прямоточного циклонного влагоуловителя вместо жалюзийного в производстве гидроксиламина на линии выхлопов из реакторов дисолей привело к значительному уменьшению выброса вредных веществ в атмосферу.

Общий экономический эффект от внедрения разработанной конструкции на ГПО "Азот" составил 216 тыс.руб.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что эффективная сепарация жидкости в режиме нисходящего прямого тока фаз происходит в диапазоне скоростей в прямоточно-центробежных элементах $W_n = 5-12$ м/с, в режиме восходящего прямого тока $W_n = 11-20$ м/с. Показано, что одноэлементный сепаратор работает более эффективно, чем многоэлементный. Выявлена низкая эффективность прямоточно-центробежных сепарационных элементов при улавливании пыли.

2. В результате теоретического анализа процесса центробежной сепарации получено выражение для определения времени сепарации частиц и аналитическая зависимость для определения оптимального профиля тангенциальной скорости газа.

3. На уровне изобретений разработан прямоточный пылевлагоуловитель циклонного типа, имеющий степень улавливания жидкости $\eta_{ж} = 99,0-99,97\%$ и пыли $\eta_n = 98,0-99,7\%$ при коэффициенте гидравлического сопротивления $\xi = 33-38$ в расчете на скорость в полном сечении аппарата.

4. Исследованы аэродинамические характеристики прямоточных циклонных элементов, рекомендованы оптимальные параметры осевых и тангенциальных завихрителей.

5. С помощью математического планирования эксперимента определены оптимальные конструктивные соотношения прямоточного циклонного пылевлагоуловителя. Получены уравнения регрессии, описывающие области высокоэффективной сепарации пыли и жидкости, адекватные по критерию Фишера для 5%-ного уровня значимости в пределах варьирования переменных.

6. Даны рекомендации по проектированию и инженерному

расчету промышленного варианта разработанной конструкции.

7. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования обеспечили возможность практического использования разработанной конструкции.

Условные обозначения

- R, r_a, r - радиус аппарата, радиус ядра, текущий радиус, м;
 W_T, U_T - тангенциальная скорость газа и частицы, м/с;
 C, D - константы;
 n, x - показатели степени;
 τ_y - время релаксации частицы, с;
 t, t_c - время, время сепарации, с;
 G, L - расход газа и жидкости, кг/с;
 $d_{в}, d_{л}, n_{л}$ - диаметр центральной втулки (м), угол наклона (град) и количество лопастей (шт) осевого завихрителя;
 q - степень запыленности газового потока, г/м³;
 η, ϵ - степень улавливания и величина уноса примесей, %;
 $\Delta P, \xi$ - потери напора (мм в.ст.) и коэффициент сопротивления;
 d_T - размер частицы, мкм;
 G_i, F_i - критерии Кохрена и Фишера;
 S_i^2, S_0^2 - дисперсия опытов и дисперсия воспроизводимости;
 X_i, X_j - итоги по столбцам и строкам соответственно;
 x_{ij} - наблюдение, полученное при уровнях W_i и $(L/G)_i$.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Влияние конструктивных размеров на эффективность работы прямоточно-центробежных сепараторов. / Гусейнов Ч.С., Плеков И.М., Ершов А.И., Донской Ф.П., Перминов Е.В. - Развитие газовой промышленности Украинской ССР. - М.: Недра, 1971, вып. У1 (II), с. 133-140.

2. Перминов Е.В., Плеков И.М. Исследование прямоточно-центробежных сепараторов. - Химия и химическая технология. - Минск: Высшая школа, 1976, вып. II, с. 130-136.

3. Плеков И.М., Перминов Е.В. Исследование прямоточных сепараторов для очистки газов от жидких и твердых примесей. - Современные машины и аппараты химических производств. Магтермамь Первой всесоюзной конференции. - Чимкент, 1977, т. I,

с. 283-286.

4. А.с. 584894 (СССР). Устройство для очистки газа.
/Перминов Е.В., Плевов И.М., Цыганок А.И. Оpubл. в Б.И.,
1977, № 47.

5. Перминов Е.В., Плевов И.М. Исследование прямоточного циклонного пылеуловителя с применением математического планирования эксперимента. - Минск, 1977, 8 с. Рукопись депонирована в ОНИИТЭХИМ г.Черкассы 26 дек. 1977 г., №1422/77 деп.


6. Перминов Е.В., Плевов И.М. Исследование прямоточно-центробежного сепаратора. - Минск, 1977, 12 с. Рукопись депонирована в ОНИИТЭХИМ г.Черкассы 26 дек. 1977 г., № 1423/77 деп.

7. Перминов Е.В., Плевов И.М. Сравнительные исследования прямоточных циклонных сепараторов. - Минск, 1977, 10 с. Рукопись депонирована в ОНИИТЭХИМ г.Черкассы 26 дек. 1977 г., № 1424/77 деп.

8. А.с. 598624 (СССР). Прямоточно-центробежный сепаратор /Перминов Е.В., Плевов И.М. Оpubл. в Б.И., 1978, № II.

9. А.с. 626809 (СССР). Прямоточный батарейный сепаратор /Перминов Е.В., Плевов И.М., Цыганок А.И. Оpubл. в Б.И., 1978, № 37.

10. Плевов И.М., Перминов Е.В., Левданский Э.И. Прямоточный сепаратор циклонного типа. - Эксплуатация, ремонт и защита от коррозии оборудования в химической промышленности. - М.: НИИТЭХИМ, 1978, вып. 6, с. 9-11.



Евгений Викторович Перминов

Исследование сепараторов для улавливания пыли и жидкости

Подписано в печать 15.01.79. АТ-01518. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз.

Заказ 43 . Бесплатно.

Отпечатано на роталпринте БТИ им.С.М.Кирова.
220630. Минск, Свердлова, 13.