

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

Одесский технологический институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова

Для служебного пользования

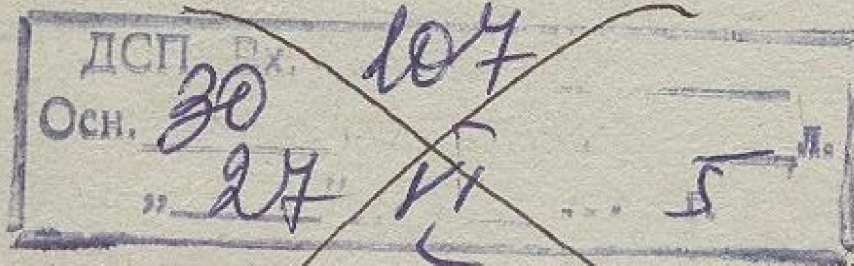
Экз. № 000017

Аспирант БОНДАРЕВ Георгий Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОНОВ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ
ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА НА ЗЕРНОВЫХ ЭЛЕВАТОРАХ

(специальность 05.02.14 – Машины
и агрегаты пищевой промышленности)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Одесса - 1974

Автореф
Б 81

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

Одесский технологический институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова

Для служебного пользования

Экз. № 000017

Аспирант БОНДАРЕВ Георгий Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОНОВ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ
ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА НА ЗЕРНОВЫХ ЭЛЕВАТОРАХ

(специальность 05.02.14 - Машины
и агрегаты пищевой промышленности)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОНАХТ 28.09.10
Исследование циклоно

017886



v017886

БАБЛИН ГЕНА

Одесса - 1974

Работа выполнена на кафедре "Промышленная вентиляция,
гидравлика и насосы" Одесского технологического инс-
титута пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор А.М.ДЗЯДЗИО

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники УССР,

доктор технических наук, профессор А.Г.ВОЛЬШАКОВ,

кандидат технических наук

В.Д.ДРАТВА.

Ведущая организация – Одесский портовый элеватор.

Автореферат разослан "21" марта 1974 г.

Защита состоится "26" апреля 1974 г.

на заседании Ученого Совета механического и инженерно-
экономического факультетов Одесского технологического
института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с
подписью, заверенной печатью учреждения, просим нап-
равить в Ученый Совет института по адресу:

ГСП, г.Сдесса, ул. Свердлова 112,

Одесский технологический институт

пищевой промышленности имени

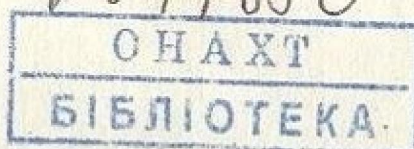
М.В.Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА ИНСТИТУТА

кандидат технических наук

Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ

✓ 017886



В Программе КПСС указано, что "всемерное оздоровление условий труда - одна из важных задач подъема народного благосостояния".

Претворяя Директивы Партии в жизнь, Советское правительство большое внимание уделяет созданию необходимых санитарно-гигиенических условий труда и охране воздушного бассейна от загрязнений.

Одним из источников, вызывающих загрязнение воздушного бассейна на зерновых элеваторах является отработавший в аспирационных сетях воздух. По данным ЦНИИПромзернопроект на элеваторе емкостью 150 тыс. тонн образуется около $70 \text{ м}^3/\text{с}$ ($250 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$) запыленного воздуха.

Из-за простоты конструкции и обслуживания в качестве пылеотделителей на элеваторах широкое распространение получили центробежные пылеотделители - циклоны. Однако недостаточно высокая эффективность применяемых конструкций приводит к чрезмерному загрязнению как воздушного бассейна, так и прилегающей территории. Поэтому изыскание способа повышения эффективности обеспыливания воздуха на элеваторах - технически и экономически важная народно-хозяйственная задача, которая рассмотрена в данной работе.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и приложений. В работе использована литература из 223 наименований.

В первой главе на основании разработанной классификации произведен краткий обзор конструктивно-функциональных решений и научно-экспериментальных исследований циклонов. Сформулированы цель, задачи, а также разработана программа предпринимаемых исследований.

Во второй главе описаны методики проведения исследований и схемы экспериментальных стендов.

В третьей и четвертой главах изложены результаты экспериментальных исследований и проведено обсуждение полученных результатов.

В пятой главе приведены данные о производственно-технологических испытаниях на Одесском портовом элеваторе разработанных конструкций циклонов и применяемых в настоящее время на элеваторах циклонов ЦОЛ и 4БШ.

В приложениях, кроме некоторого фактического материала, включены в табличном виде данные математико-статистической обработки экспериментального материала и акт производственных испытаний.

Обеспыливание воздуха (газов) в циклонах различных отраслей промышленности весьма успешно осуществляли А.Г.Большаков, С.Е.Бутаков, А.М.Гервасьев, Е.Ф.Жирничев, Л.И.Котляр, П.А.Коузов, А.Д.Мальгин, А.В.Панченко, И.Н.Смухнин и многие другие. Этим объясняется многообразие применяемых типов, оценка конструктивных и аэродинамических характеристик которых без научно обоснованной классификации затруднительна. На основании составленной классификации видно, что в практике обеспыливания воздуха на элеваторах применяют циклоны противоточные, вертикальные, одиночные и групповые с однократным обеспыливанием воздуха.

Однократное обеспыливание воздуха от зерновой элеваторной пыли, состоящей как из частиц с микронными размерами — истертые частицы почвы и оболочки зерна, так и из частиц, имеющих размеры миллиметры и более — цветочные пленки, обломки остей и пр., в применяемых на элеваторах циклонах не удовлетворяет современным требованиям к чистоте воздушного бассейна промышленных предприятий.

На некоторых элеваторах (в г.г. Куйбышеве, Ростове) в качестве эксперимента осуществляли обеспыливание воздуха в двух

последовательно установленных циклонах. Но такая схема, судя по испытаниям, проведенным Ростовской ИИ, не рациональна - улучшение эффективности мало, а увеличение аэродинамического сопротивления и занимаемых циклонами площадей существенно.

Применение на элеваторах более эффективных, чем циклоны пылеотделителей - "мокрых" аппаратов и матерчатых фильтров не осуществимо из-за несмачиваемости элеваторной пыли водой и быстрого забивания фильтроматериала цветочными пленками, обломками остей и пр., исключающими возможность регенерации его.

Анализ выполненных исследований позволяет сделать вывод, что в циклоне не полностью изучены условия подвода воздуха и выпуска отделенной пыли; не решена возможность создания рациональной конструкции аппарата с двукратной очисткой воздуха, лишенной основных недостатков известных циклонов.

В связи с этим была сформулирована цель - исследование возможности повышения эффективности обеспыливания воздуха на элеваторах и поставлен ряд задач для ее выполнения: исследование дисперсного состава образцов зерновой пыли, отобранных в различных местах пылеобразования на элеваторе; разработка методик проведения исследований и экспериментальных стендов; создание конструкции циклона с двукратной очисткой воздуха; исследование условий подвода воздуха (формирование потока в циклоне) и выпуска пыли из циклонов с однократной очисткой воздуха; проверка в производственных условиях результатов лабораторных исследований.

В настоящей работе исследования проведены по двум направлениям - обоснование целесообразности создания конструкции циклона с двукратной очисткой воздуха и усовершенствование существующих циклонов.

В работе показано, что при исследовании циклонов най-

лее целесообразно применять производственную пыль либо наиболее представительные ее фракции.

В связи с ограниченными сведениями о дисперсном составе зерновой элеваторной пыли были проведены обследования двух элеваторов (Березовского хлебоприемного и Одесского портового). Цель обследований — определение дисперсного состава образцов, отобранных в различных точках пылевыделения технологических схем: от поступления зерна на элеватор до загрузки его в силос.

Обработка экспериментальных данных позволила распределение образцов пыли в ситовой области (размеры частиц более 110 мкм, которых в отобранных образцах содержалось от 50 до 95%) описать выражением

$$D = a + b\sigma - c e^{-k\sigma} \quad (1)$$

где a , b , c , k — коэффициенты, определяемые экспериментально и зависящие от места пылевыделения, вида, влажности и характера предварительной обработки зерна.

В подситовой области (размеры частиц менее 110 мкм) дисперсный состав образцов достаточно хорошо подчинялся логарифмически нормальному закону распределения. Так как в циклонах наиболее трудно отделить частицы из подситовой области, экспериментальные зерновые пыли (запылители) не имели частиц более 110 мкм, а медианный размер различных образцов ее был равен $8 - 25$ мкм.

Для более широкой проверки результатов исследований применяли мучную, кварцевую и каолиновую пыли, имеющие различную степень дисперсности, медианный размер, объемную массу, сцепляемость, зольность. Характеристики, применявшихся экспериментальных пылей, приведены в табл. I и на рис. I.

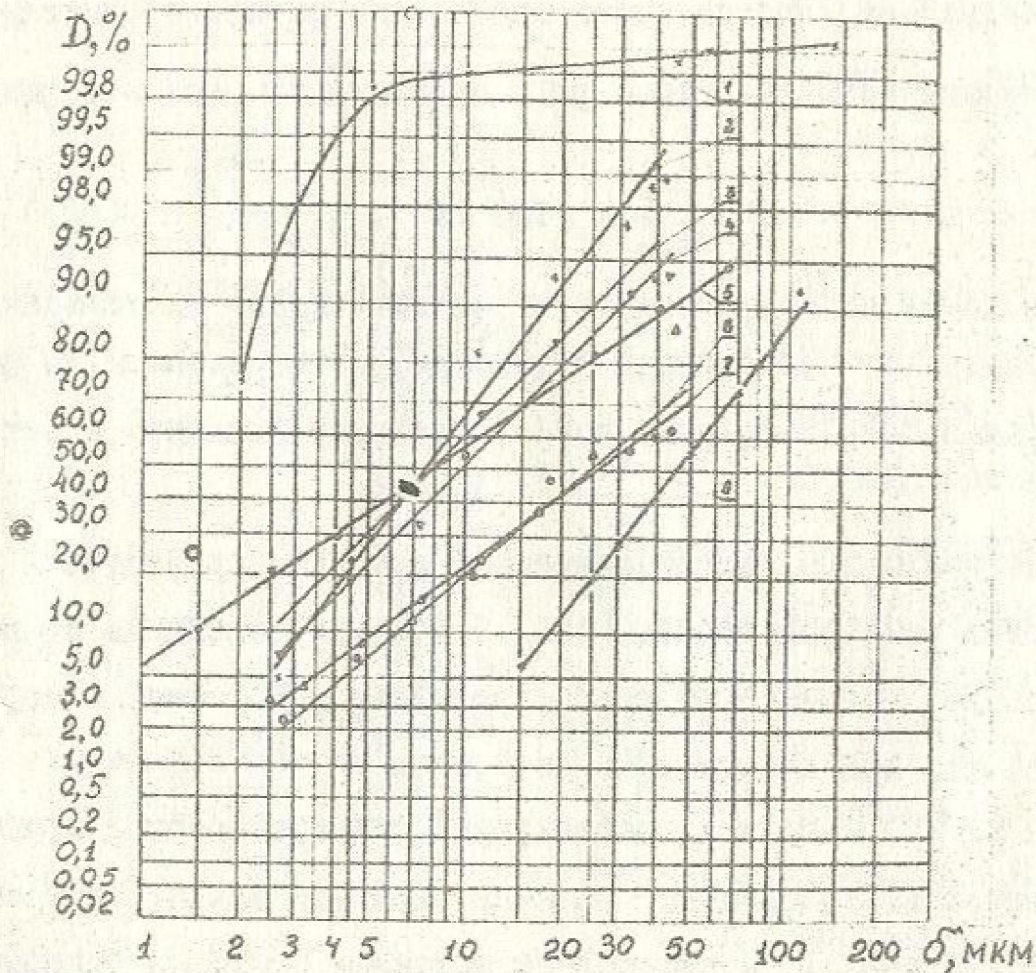


Рис. 1. Дисперсные характеристики экспериментальных пылей : 1- каолиновая; 2,3,4,6-зерновая элеваторная; 5-кварцевая; 7-производственная; 8 - мучная.

Таблица 1.

Наименование экспериментальной пыли	Зольность $Z, \%$	Влажность $W, \%$	Объемная масса $\delta, \text{кг/м}^3$	Медианный размер $\delta_{50}, \text{мкм}$	Степень дисперсности $G = \frac{\delta_{50}}{\delta_{10}}$
Каолиновая	(И1) 98,5	0,5	2480	-	-
Зерновая ³	(И2) 28,6	8,5	1660	8	2,00
"	(И3) 28,5	8,5	1660	8	2,50
"	(И4) 29,2	8,0	1670	10	2,50
Кварцевая	(И5) 99,0	0,5	2500	8	3,80
Зерновая	(И6) 31,5	7,4	1920	25	3,12
Производственная	(И7) 30,6	9,0	1870	27	3,00
Мучная	(И8) 0,5	4,6	1370	46	2,05

При разработке методики определения эффективности циклона исходили из необходимости оценки его работы с санитарно-гигиенических позиций. Этому условию удовлетворяет коэффициент уноса

$$\varepsilon = \frac{M_6}{M_n} \cdot 100 \% \quad (2)$$

представляющий отношение массы пыли, вынесенной из циклона / M_6 / и осажденной на " абсолютном " фильтре, изготовленном из фильтроматериала ФП-15-1,7, ко всей массе пыли, поданной в циклон / M_n /.

Для получения аэродинамической и пылезадерживающей характеристик фильтроматериала ФП-15-1,7 при отделении от воздуха зерновой элеваторной пыли, проведены испытания, которые показали, что при воздушных (до $0,67 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$) и пылевых (до $0,2 \text{ кг}/\text{м}^3$) нагрузках исследуемый фильтроматериал практически полностью задерживает частицы зерновой элеваторной пыли № 2 (табл. I рис. I) - проскок не превышал 0,05%, а сопротивление его / $H_{\varphi}, \text{Па}$ / линейно увеличивалось с возрастанием скорости фильтрации / $V_{\varphi}, \text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$ / по выражению

$$H_{\varphi} = 1,55 \cdot 10^3 V_{\varphi} \quad (3)$$

Аэродинамическое сопротивление циклонов / $H_{\text{ц}}$ / определяли по разности полных давлений, замеренных микроманометрами типа МН до и после него.

В результате совместной работы сотрудников кафедр "Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий" и "Промышленная вентиляция, гидравлика и насосы" (авторы Г.К. Бондарев, Н.В. Георги, А.М. Дзядзио, Г.Ф. Костюк, Л.И. Котляр, Г.К. Кравченко, Л.С. Солдатенко) предложена и защищена авторским свидетельством схема циклонного аппарата и.а.

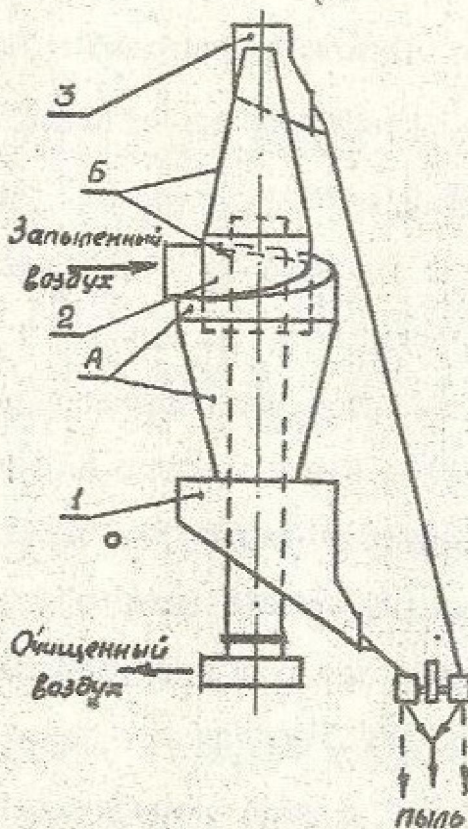


Рис. 2. Схема циклонного аппарата
ОТИПП-2

существляется без применения промежуточных устройств (направляющего аппарата, розеток и пр.), а исключительно за счет энергии вращающегося потока, что позволяет более рационально использовать ее. Отделенная пыль поступает в обособленные сборники 1 и 3, исключающие возможность перетекания потока из одного ц.э. в другой.

В связи с тем, что в ц.а. ОТИПП-2 много (около 20-ти) геометрических, нагрузочных и других факторов, влияющих на эффективность ($y_1 = \xi$) и аэродинамическое сопротивление ($y_2 = H_{\text{а}}$), исследования его производили статистическим методом планирования многофакторных экспериментов, позволяющим получить статистическую модель процесса и на ее основе оптимальные размеры аппарата.

ОТИПП-2 (рис. 2) с двукратным обеспыливанием воздуха, в котором первичное пылеотделение осуществляется в первом циклонном элементе ц.э. А, а вторичное, при котором отделяются наиболее мелкие частицы пыли - во втором ц.э. Б. Циклонные элементы ориентированы так, что выхлопная труба 2 ц.э. А является цилиндрической частью ц.э. Б. Передача воздушного потока из одного ц.э. в другой осу-

Отсутствие априорной информации, необходимой для ранжирования факторов (геометрических размеров) по их вкладам в процесс, способствовало проведению отсеивающих экспериментов. На первом этапе отсеивания однофакторным методом при отделении от воздуха запылителя № 4 (табл. I, рис. I) было определено влияние основных размеров циклона на эффективность и аэродинамическое сопротивление аппарата. По данным проведенных исследований, руководствуясь критерием, представляющим отношение разности максимального и минимального значений ε и $N_{ц}$ к разности относительных значений варьируемого фактора, построили диаграмму ранжирования, анализ которой позволил из 20-ти потенциально возможных факторов предварительно выделить только восемь: диаметр выхлопной трубы - X_1 ; диаметр цилиндрической части второго ц.э. - X_2 ; углы раскрытия первого и второго ц.э. - соответственно X_3 и X_4 ; диаметр пылевыпускного отверстия второго ц.э. - X_5 ; ширину кольцевого выпуска пыли из первого ц.э. - X_6 ; воздушную нагрузку - X_7 ; ширину входного патрубка - X_8 .

Второй этап отсеивания при отделении от воздуха экспериментальной пыли № 6 (табл. I, рис. I) производили методом случайного баланса по программе "ветвящаяся стратегия", разработанной математической группой Гиредмета под руководством Р.И.Слободчиковой. Матрицу планирования, включающую план проведения отсеивающих экспериментов, выбрали из "оптимальных матриц планирования случайного баланса" со слабо коррелированными столбцами (максимальный коэффициент корреляции

$r = 0,25$). Реализация матрицы планирования и обработка полученных результатов на ЭЦВМ Минск-22 по алгоритму "ветвя-

щаяся стратегия" позволили получить неполные квадратные уравнения регрессии для обоих параметров оптимизации ($y_1 = \xi$ и $y_2 = \eta$) в виде :

$$y_1 = 1,082 + 0,413x_1 + 0,312x_6 + 0,416x_3x_4 + 0,452x_1x_5 - 0,159x_7x_8 - 0,377x_3 - 0,176x_1x_7 - 0,117x_8; \quad (4)$$

$$y_2 = 237,55 - 75,55x_8 - 66,93x_6 + 75,42x_1x_5 + 23,70x_2 + 37,40x_1x_8 - 44,64x_1 + 1,36x_3 + 6,47x_1x_7 + 16,41x_5x_8. \quad (5)$$

Ошибки экспериментов равны $S_{\{y_1\}} = 0,0226\%$; $S_{\{y_2\}} = 1,3300$ да Па. Ошибки в определении коэффициентов регрессии - для y_1 , $S_{\{b_i\}} = 5,64 \cdot 10^{-3}$; для y_2 $S_{\{b_i\}} = 338 \cdot 10^{-3}$.

Сопоставление значений коэффициентов в уравнениях регрессии с величинами доверительных интервалов ($\Delta b_{j\{y_1\}} = \pm 0,120$; $\Delta b_{j\{y_2\}} = \pm 0,745$) показывает, что все они значимы. Проведенный анализ уравнений регрессии позволил выделить пять (x_1 ; x_3 ; x_5 ; x_6 ; x_8) факторов значимо влияющих на процесс, которые включили в дальнейшие исследования.

Высокие значения эффективности, полученные при реализации матрицы случайного баланса, неадекватность представления неполных квадратных уравнений регрессии гиперплоскостью, превышения интервалов варьирования над погрешностью изготовления и сборкой факторов, а также значимость коэффициентов при парных взаимодействиях указывают на то, что опыты проведены вблизи почти стационарной области. Поэтому было принято решение отказаться от "крутого восхождения" и перейти к исследованиям в почти стационарной зоне, используя план центрального композиционного ротatableльного планирования (ЦКРП), при-

няв за центр планирования второго порядка условия лучшей строки матрицы случайного баланса.

На основании рекомендаций В.В.Налимова и Н.А.Черновой матрицу планирования ЦКРП составили из полурешетки ПФЭ 2^5 , шести центральных точек и десяти звездных. Плечо для звездных точек $\alpha = 2,0$. В качестве запылителя использовали пыль № 3 (табл. I, рис. I). Однородность дисперсий проверяли по критерию Кохрана ($G_{\{y_1\}} = 0,143$; $G_{\{y_2\}} = 0,130$; $G^T = 0,188$), расчетные значения которого, меньшие чем табулированные, указывают на воспроизводимость и равноточность опытов.

В результате обработки данных реализации матрицы ЦКРП получены уравнения статистической модели процесса в ц.а.

ОГИИП-2.

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 1,51143 + 0,16250x_1 - 0,14916x_2 + 0,05500x_3 + \\
 & + 0,33580x_4 - 0,40666x_5 + 0,11484x_1^2 + 0,00994x_3^2 + \\
 & + 0,06428x_3^2 - 0,02384x_6^2 + 0,01247x_8^2 + 0,9732x_1 \cdot x_3 - \\
 & - 0,06446x_1 \cdot x_5 - 0,30333x_1 \cdot x_6 - 0,21486x_1 \cdot x_8 - 0,25278x_3 \cdot x_5 - \\
 & - 0,17821x_3 \cdot x_6 + 0,26415x_3 \cdot x_8 - 0,00885x_5 \cdot x_6 - 0,09732x_5 \cdot x_8 + \\
 & + 0,04234x_6 \cdot x_8; \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_2 = & 123,4983 - 22,6830x_1 + 0,3167x_3 + 0,3917x_5 - \\
 & - 3,6583x_6 - 5,8249x_8 + 5,5342x_1^2 + 3,5878x_3^2 + \\
 & + 2,3492x_5^2 + 0,8326x_6^2 + 12,6625x_8^2 - 0,2401x_1 \cdot x_3 - \\
 & - 2,6542x_1 \cdot x_5 + 0,9353x_1 \cdot x_6 + 1,8706x_1 \cdot x_8 + 1,3397x_3 \cdot x_5 + \\
 & + 0,8847x_3 \cdot x_6 - 1,3144x_3 \cdot x_8 - 0,0126x_5 \cdot x_6 + 0,3413x_5 \cdot x_8 + \\
 & + 0,0632x_6 \cdot x_8. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Меньшие, экспериментально полученные значения критерия Фишера, чем табулированные ($F_{\{y_1\}} = 4,87$; $F_{\{y_2\}} = 4,58$; $F^T = 5,0$)

указывают на адекватность статистических моделей изучаемому процессу.

Уравнения (6) и (7) позволяют проанализировать степень влияния исследуемых факторов на эффективность пылеотделения и аэродинамическое сопротивление циклонного аппарата ОТИП-2. Так, в большей мере на эффективность ц.а. оказывает влияние ширина входного патрубка, с увеличением которой эффективность ц.а. уменьшается; с увеличением ширины кольцевого выпуска пыли из первого циклонного элемента, с увеличением диаметра выхлопной трубы и угла раскрытия конуса второго циклонного элемента величина коэффициента уноса увеличивается. Меньшее влияние на ξ оказывает диаметр пылевыпускного отверстия второго ц.э.

На сопротивление ц.а. ОТИП-2 большое влияние оказывает диаметр выхлопной трубы, с увеличением которого сопротивление уменьшается. Следующим фактором является ширина входного патрубка, с увеличением которой сопротивление также уменьшается. Изменение угла раскрытия конуса второго ц.э., диаметра пылевыпускного отверстия второго ц.э. и ширины кольцевого выпуска пыли из первого ц.э. в исследованном диапазоне варьирования факторов практически не влияет на величину сопротивления аппарата.

Анализ статистической модели, произведенный при помощи одномерных сечений поверхностей отклика показал, что исследуемые факторы создают конфликтную ситуацию - при уменьшении коэффициента уноса ($y_1 = \xi$) увеличивается аэродинамическое сопротивление аппарата ($y_2 = H_u$) и наоборот. Поэтому лучшие условия протекания процесса в ц.а. ОТИП-2 определяли при компромиссном решении уравнений статистической модели.

В результате покоординатного поиска на ЭЦЕМ "Минск-22" по методике, разработанной математической группой Гиредмета, получен ряд лучших значений коэффициентов уноса и соответствующих им сопротивлений ц.а. ОГИПП-2 при варьировании во всевозможных комбинациях исследуемыми факторами в диапазоне кодированных значений от $+1,0$ до $-1,0$ с шагом квантования $\Delta x = 0,1$. Среди полученных значений точка факторного пространства с координатами $x_1 = -1,0$; $x_2 = -1,0$; $x_3 = -1,0$; $x_4 = -1,0$; $x_5 = +1,0$, имеющая значения коэффициента уноса $\xi = 0,2671\%$ и сопротивление $H_{ц} = 171,9$ даПа, является экстремальной и поэтому полученные параметры аппарата - оптимальны.

На основании результатов проведенных исследований построили аэродинамическую схему и рассчитали проектную нормаль ц.а. ОГИПП-2 на различные воздушные нагрузки.

Исследование возможности улучшения обеспыливания воздуха в применяемых конструкциях циклонов производили путем изменения условий подвода воздуха и выпуска пыли из них. Для этого изготовили разборной в месте соединения конуса с цилиндрической частью (головкой) циклон ОМЭИ, разработанный А.В.Панченко и Л.И.Котляром применительно к зерноперерабатывающим предприятиям, в котором изменяли различными головками (рис.3) условия подвода запыленного воздуха: винтовой тангенциальный в.т. (головка а); плоский тангенциальный п.т. (головка б); плоский спиральный - угол раскрытия спирали Архимеда ($\alpha = 180^\circ$ головка в); плоский спиральный - угол раскрытия спирали Архимеда ($\alpha = 360^\circ$ головка г). Все остальные геометрические размеры головок оставались неизменными.

На рис.3 сплошными линиями обозначены изменения относительных коэффициентов уноса $\bar{\xi}$, а пунктирными - относительных

сопротивлений \bar{H} от относительной воздушной нагрузки \bar{Q} . \bar{H} и \bar{E} - отношение величин сопротивлений и коэффициентов уноса циклона с исследуемой головкой к величинам сопротивлений и коэффициентов уноса циклона с исходной головкой, то есть с в.т. подводом. \bar{Q} - отношение воздушной нагрузки во время испытания к воздушной нагрузке, рекомендуемой нормально для исследуемого циклона с в.т. подводом ($0,0835 \text{ м}^3/\text{с}$).

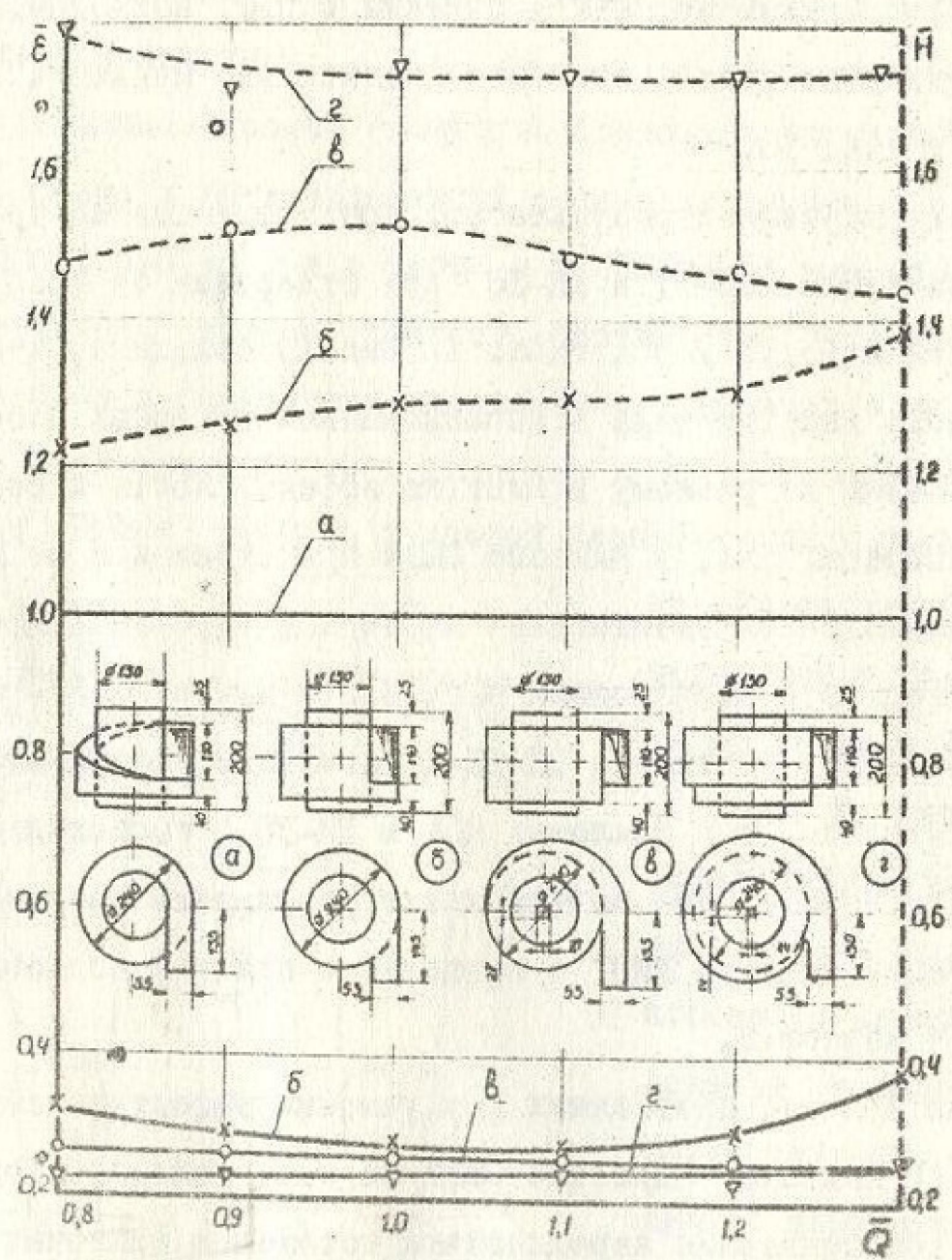


Рис.3. Влияние, оказываемое заменой винтового тангенциального подвода в циклоне СМЭИ плоским тангенциальным (графика б); плоским спиральным ($\alpha = 180^\circ$, графики в) и плоским спиральным ($\alpha = 360^\circ$, графики г) на \bar{E} и \bar{H}

Результаты проведенных исследований при отделении от воздуха запылителя № 2 (табл. I, рис. I) показывают, что замена в циклоне ОМЭИ винтового тангенциального подвода плоским тангенциальным подводом не только упростила конструкцию циклона, но и улучшила его эффективность (графики а и б рис. 3).

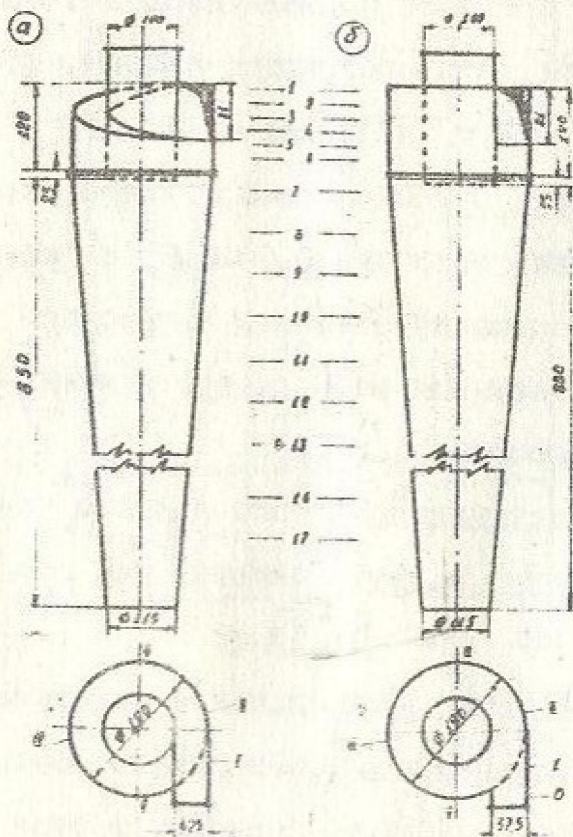
Циклоны с плоскими спиральными подводами имели эффективность практически такую же, как и циклоны с п.т. подводом. Однако сопротивление последнего было значительно меньше (графики б., в, и г рис. 3).

Проверка полученных результатов, произведенная на других типах циклонов (ЦОЛ, ЦН-II и УЦ-38) при отделении от воздуха различных пылей № 1, 2, 5 и 8 (табл. I, рис. I) показала, что замена основного вида подвода в исследованных циклонах плоским тангенциальным по-разному влияет на эффективность и сопротивление аппарата. Так, в циклоне ОМЭИ при отделении от воздуха всех применявшихся запылителей наблюдали улучшение эффективности (на зерновой элеваторной пыли № 2 и мучной № 8 — особенно существенное). В циклоне ЦН-II — повышение эффективности более значительно, а в циклонах ЦОЛ и УЦ-38 — происходит снижение эффективности, что подтверждает результаты сравнительных испытаний циклона ЛИОТ с винтовым и плоским подводами, полученные П.А. Коузовым.

Изучение причин, приводящих к улучшению эффективности при замене в.т. подвода в циклоне ОМЭИ на п.т. подвод, производили путем сопоставления аэродинамики потоков в циклонах с указанными подводами и исследованием отдельного влияния всех элементов в.т. подвода. Для этого в головке циклона с п.т. подводом поочередно устанавливали вертикальную перегородку, соединяющую наружный цилиндр (корпус) циклона с выхлопной

трубой; горизонтальную перегородку, являющуюся продолжением нижней полки входного патрубка до диаметральной плоскости корпуса; винтовую направляющую поверхность и их сочетания, последовательно превращающие головку с п.т. подводом в головку с в.т. подводом. В результате исследований установлено, что каждое из испытанных устройств в различной степени ухудшает эффективность циклона, нарушая целесообразное формирование нисходящего потока.

Аэродинамические измерения проводили пятиточечным шаровым зондом в пяти радиальных сечениях головки с винтовым подводом (рис. 4а) и в шести - с плоским (рис. 4б), в двух диаметральных сечениях конусов, соответствующих сечениям IУ и У головок и в семнадцати плоскостях, отстоящих одна от другой на расстоянии 20 мм в головках и на расстоянии 60 мм в конусах. Точки замеров в каждой плоскости были расположены



на расстоянии 5 мм одна от другой в головках и на расстоянии 10 мм - в конусах. На рис. 4 римскими цифрами обозначены сечения, а арабскими - плоскости замеров. Исследования проводили на четырех режимах, соответствующих изменению средних скоростей во входном патрубке от 7,0 до 22,5 м/с или условной скорости в сечении корпуса циклона от 0,85 до

Рис. 4. Схема расположения сечений и плоскостей замеров в циклонах с : а - винтовым и б - плоским тангенциальными подводами.

ОНАХТ
БИБЛИОТЕКА

2,70 м/с.

017886

Из графиков, приведенных на рис. 5 видно, что замена в.т. подвода на п.т. подвод приводит к существенному изменению распределения тангенциальной U_x - компоненты скорости потока. Во всех плоскостях и сечениях величины U_x - компоненты (наиболее важной в циклонном процессе) при п.т. подводе (сплошные линии) имеют большие значения, чем при винтовом (пунктирные линии).

В результате этого на частички пыли действуют большие по модулю центробежные силы, приводящие к более быстрому выделению их из потока. Причем, максимальные значения тангенциальной компоненты у циклона с п.т. подводом смещены к наружной стенке корпуса, у циклона с в.т. подводом - к выхлопной трубе.

Графики распределения расходов, полученные методом графического интегрирования тангенциальной компоненты скорости во всех сечениях головок исследованных циклонов свидетельствуют о том, что через каждое условное сечение (равное по площади входному сечению в циклон) при п.т. подводе проходит больше воздуха, чем поступает в циклон. Это происходит потому, что из сечения У в сечение I головки с п.т. подводом (рис. 46) поступит некоторый объем воздуха (в исследованном диапазоне изменения воздушной нагрузки равный величине 0,60-0,75 от количества воздуха, поступающего в циклон), отжимающий основной поток к наружной стенке циклона, повышая этим скорость движения его в сечении I до величины равной $1,4 U_{ex}$.

При в.т. подводе за счет поступления потока в конус через каждое условное сечение проходит воздуха меньше, чем поступает в циклон.

Графики распределения радиальной U_y - компоненты показывают, что она выполняет немаловажные функции в формировании потока в циклоне. Во втором сечении головки с в.т. подводом вблизи

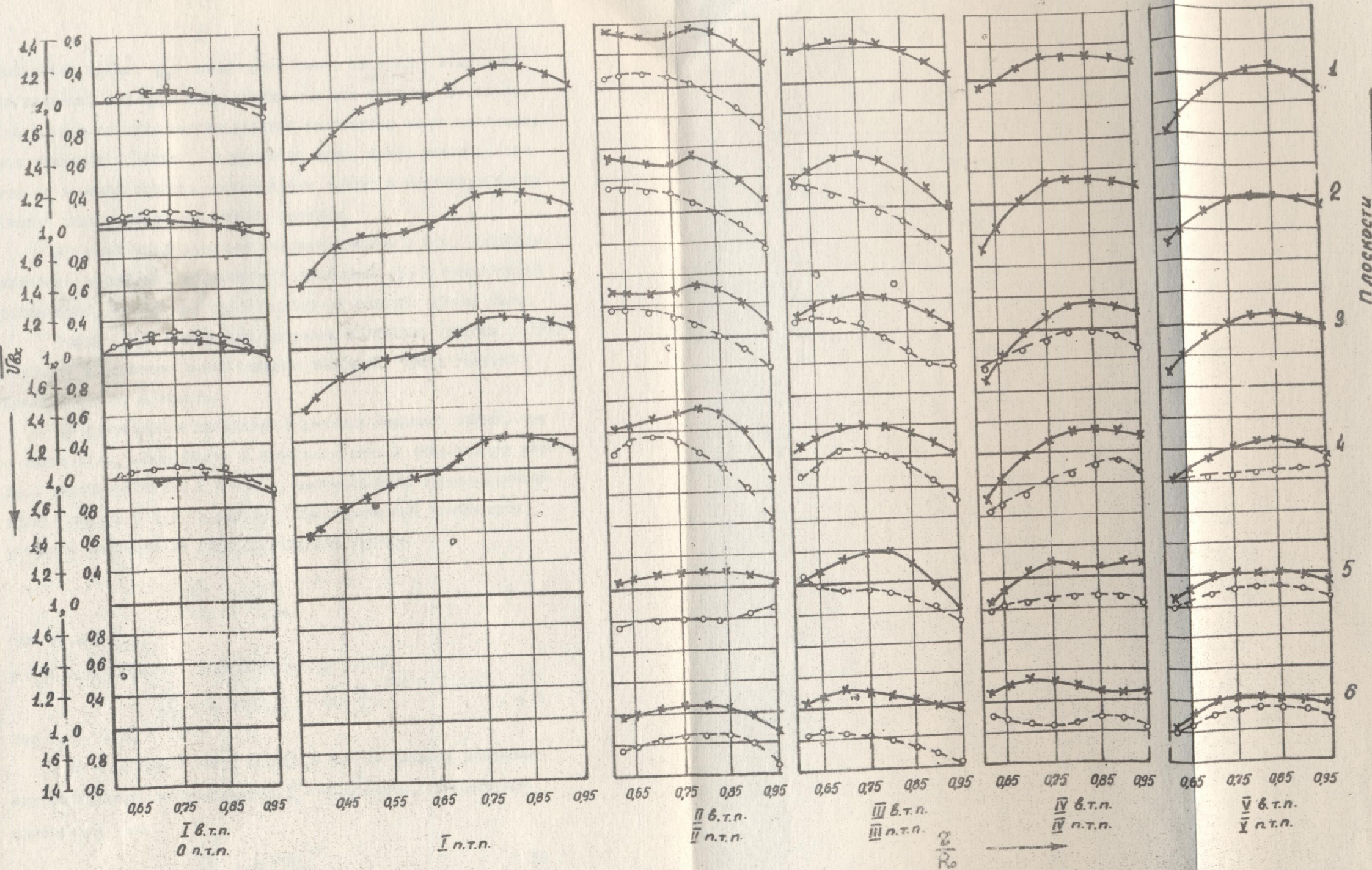


Рис.5. Распределение U_x/U_{6x} в головках циклонов с плоским (сплошные линии) и винтовым (пунктирные линии) подводами воздуха

выхлопной трубы V_y - компонента имеет значения, доходящие до величины $0,2 V_{\text{вх}}$ и направление - к оси циклона. Учитывая, что в этом сечении тангенциальная компонента имеет максимальное значение и осевая - направлена вниз, можно считать, что это не в малой степени способствует выносу в выхлопную трубу частиц пыли непосредственно из головки.

В первых трех сечениях головки циклона с п.т. подводом значения радиальной компоненты у выхлопной трубы практически равны нулю, что препятствует выносу из головки частиц пыли.

Осевые V_z - компоненты скорости в головке циклона с п.т. подводом в основном имеют меньшие значения, чем в головке циклона с в.т. подводом.

Из результатов измерений в конусах циклонов видно, что в плоскостях, находящихся в непосредственной близости от входа в выхлопную трубу ($h \approx D_u$), распределение в периферийной зоне (циклон с в.т. подводом) тангенциальной компоненты скорости подчиняется гиперболическому закону:

$$\frac{V_x}{V_{\text{вх}}} = \alpha \left(\frac{r}{R_0} \right)^{-n} \quad (8)$$

где $n \approx 0,50$,

а при п.т. подводе - параболическому закону

$$\frac{V_x}{V_{\text{вх}}} = c + b \left(\frac{r}{R_0} \right) - \alpha \left(\frac{r}{R_0} \right)^n \quad (9)$$

где $n = 1,65 - 2,60$.

По мере продвижения потока в конусе циклона видоизменяется характер распределения V_x - компоненты, постепенно приобретая вид

$$\frac{V_x}{V_{\text{вх}}} = \alpha \left(\frac{r}{R_0} \right)^n \quad (10)$$

В центральной зоне при обоих типах подвода распределение тангенциальной компоненты подчиняется степенному закону

$$\frac{V_x}{V_{\theta x}} = \alpha \left(\frac{z}{R_0} \right)^n \quad (II)$$

Значения показателя степени : при винтовом подводе $n = 0,30 - 0,50$, при плоском - $n = 0,40 - 0,65$.

Из уравнений (8) и (9) следует, что при равных воздушных нагрузках тангенциальная компонента скорости у наружной стенки конуса циклона с п.т. подводом имеет большие значения, чем при винтовом. Эта закономерность сохраняется на всем пути движения потока в циклоне.

Осевая компонента скорости нисходящего и восходящего потоков в циклоне с п.т. подводом имеет меньшие значения, чем при в.т. подводе, что способствует уменьшению скорости прохождения потока в циклоне , а следовательно, увеличению времени пребывания частиц пыли в зоне действия центробежных сил инерции по сравнению с циклоном с в.т. подводом.

Расходы воздуха, проходящие через каждую плоскость конусов, определяли методом графического интегрирования графиков распределения осевой V_z -компоненты по радиусу плоскости замера. В обоих исследованных циклонах через каждую последующую плоскость проходит меньше воздуха, чем через предыдущую. Уменьшение расхода носит линейный характер, с большим углом наклона линий в циклоне с п.т. подводом. В результате чего в циклоне с п.т. подводом в пылесборник вместе с отделенной пылью поступает меньшее количество воздуха, чем в циклоне с в.т. подводом. Поступление воздуха в пылесборник способствует, как отмечено многими исследователями, выносу, "вымыванию" из него осаденной пыли.

Известные устройства (выпрямляющая крестовина, обратный

конус), устанавливаемые в срезе пылевыпускного отверстия либо на некотором расстоянии от него и предназначенные для уменьшения уноса из пылесборника осажденной пыли, недостаточно эффективны, т.к. они либо нарушают поток, либо уменьшают зону активного пылеотделения в циклоне.

В результате изучения условий выпуска пыли из циклона ОМЭИ предложено устройство в виде диска-экрана, которое размещается в пылесборнике на некотором расстоянии (h) от среза пылевыпускного отверстия (рис. 6). Данное устройство предотвращает проникновение нисходящего потока в пылесборник и вынос им отделенной пыли, повышая этим эффект пылеотделения. Установлено, что диск-экран (диаметр $D_3 = 1,4d_n$ см. рис. 6), установленный в пылесборнике на расстоянии 0,1 м от среза пылевыпускного отверстия циклона ОМЭИ с плоским тангенциальным подводом, на 20% уменьшает остаточную запыленность воздуха. Опыты, проведенные на других циклонах (ЦОЛ, ЦН-1Р) и пылях № 1, 5, 8 (см. табл. I рис. I), подтвердили полученные результаты.

Диаметр экрана (D_3) в зависимости от диаметра пылевыпускного отверстия (d_n) можно определять по выражению

$$D_3 = (1,3 - 1,5) d_n \quad (12)$$

Расстояние (h), зависящее от интенсивности потока в циклоне, определяется опытным приближением на месте эксплуатации циклона.

Кроме того, диск-экран, предотвращая проникновение нисходящего потока в пылесборник, способствует тому, что область разрежения, образуемая в центральной зоне циклона, оказывается запертой снизу экраном, а с боков повышенным давлением в периферийной зоне нисходящего потока, которое всегда больше, чем в центральной. В результате этого давление в пылесборнике

повышается, достигая величины давления в периферийной зоне нисходящего потока.

При установке циклона в конце нагнетательной части аспирационной сети давление в пылесборнике принимает положительные значения, что препятствует присосу воздуха через пылевыпускное отверстие при выпуске пыли непосредственно в атмосферу.

Таким образом, в результате проведенных исследований представилась возможность усовершенствовать конструкцию циклона ОМЭИ путем замены в.т. подвода запыленного воздуха п.т. подводом и установкой в пылесборнике диска-экрана. Данная конст-

рукция пылеотделителя названа циклоном ОТИП.

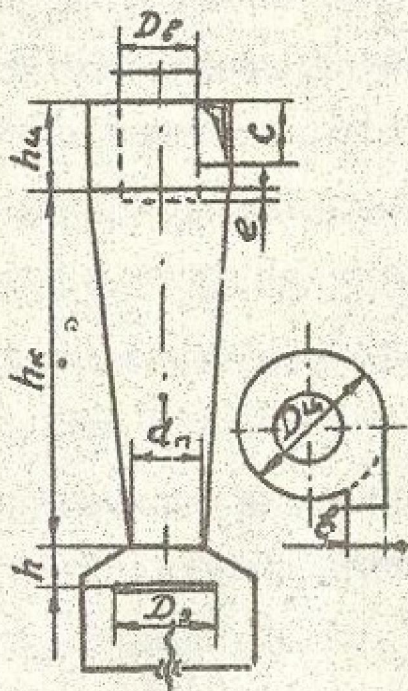


Рис. 6. Схема циклона ОТИП

Исследования трех циклонов ОТИП, схема которых приведена на рис.6, а размеры в табл.2, показали, что воздушная нагрузка ($Q_{ц}$, м³/с) на эти циклоны при достижении ими минимальной величины коэффициента ξ , несколько больше, чем рекомендуемая для циклонов ОМЭИ таких же размеров. Эта зависимость аппроксимируется выражением:

$$Q_{отип} = 1,6 Q_{омэи}^{1,13} \quad (13)$$

Таблица 2

$D_{ц}$ (м)	$D_{с}$ (м)	d_{n} (м)	$h_{ц}$ (м)	$h_{к}$ (м)	ξ (м)	c (м)	e (м)
0,240	0,130	0,125	0,145	0,600	0,055	0,110	0,025
0,435	0,240	0,125	0,270	1,090	0,098	0,195	0,044
0,585	0,320	0,125	0,350	1,450	0,133	0,275	0,058

В связи с этим наружный диаметр циклона ОТИПШ в зависимости от воздушной нагрузки, при которой достигается минимальная величина коэффициента уноса, следует вычислять по выражению

$$D_{\text{ц}} = 0,68 Q_{\text{ц}}^{0,446} \quad (14)$$

Остальные размеры циклонов ОТИПШ можно определять по зависимостям, полученным А.В.Панченко и Л.И.Котляром для циклонов ОМЭИ.

Коэффициенты сопротивления циклонов ОТИПШ, отнесенные к динамическим давлениям, вычисленным по средним скоростям во входном патрубке и в сечении корпуса, не зависят от наружного диаметра и соответственно равны $\zeta_{\text{вх}} = 6,1$ и $\zeta_0 = 370$.

Графики фракционных эффективностей, определенные для трех размеров циклонов (см. табл. 2) при помощи ротационного анализатора дисперсного состава пыли в потоке (РАД-1, автор Г.М.Скрябин), позволили получить выражение для вычисления размеров частиц, улавливаемых циклоном на 50%.

$$\zeta_{50\%} = 0,9 e^{1,5 D_{\text{ц}}}, \quad (15)$$

где $D_{\text{ц}}$ - наружный диаметр циклона (м).

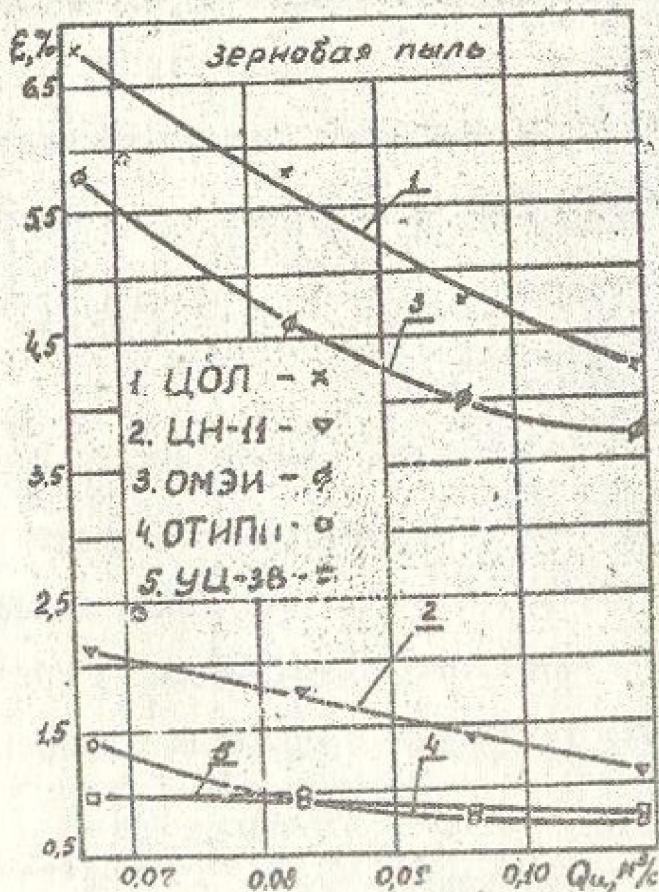
Применяя методику расчета циклонов для пылей, имеющих распределение частиц в подситовой области, разработанную во ВНИИОТ П.А.Коузовым, можно определять величины общих коэффициентов уноса циклонов ОТИПШ. Результаты, приведенные в табл. 3, показывают хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Таблица 3

Диаметр циклона $D_{\text{ц}}, \text{ м}$	Общий коэффициент уноса $\xi, \%$	
	расчетный	экспериментальный
0,240	1,7	1,3
0,435	3,0	2,5
0,585	4,3	4,6

Дополнения, сделанные к этой методике, позволяют производить расчет общего коэффициента уноса при отделении от воздуха не только пылей, имеющих распределение в подситовой области, но и промышленных пылей, имеющих распределение как в подситовой, так и в ситовой областях. Для этого сначала определяют коэффициент уноса только для подситовой области, а затем его уменьшают на величину, пропорциональную процентному количеству фракций, приходящихся на подситовую зону от общего количества пыли.

В диссертации, на основании сравнительных испытаний циклонов ОМЭИ, ОТИП, УЦ-38, ЦН-II и ЦОЛ, рассчитанных на одинаковую, равную $0,0835 \text{ м}^3/\text{с}$, воздушную нагрузку показано, что лучшую эффективность (рис.7) — меньшие значения коэффициентов уноса на всем исследованном



диапазоне изменения воздушной нагрузки — имеют циклоны ОТИП и УЦ-38. Причем, при практически одинаковой эффективности циклон ОТИП имеет более простую конструкцию, меньшие габаритные размеры и аэродинамическое сопротивление. Эти же результаты подтверждены при отделении от воздуха мучной, кварцевой и каолиновой пылей (табл. I, рис. I).

Рис. 7. Зависимости коэффициентов уноса от воздушной нагрузки на циклоны ЦОЛ, ЦН-II, ОМЭИ, ОТИП, УЦ-38

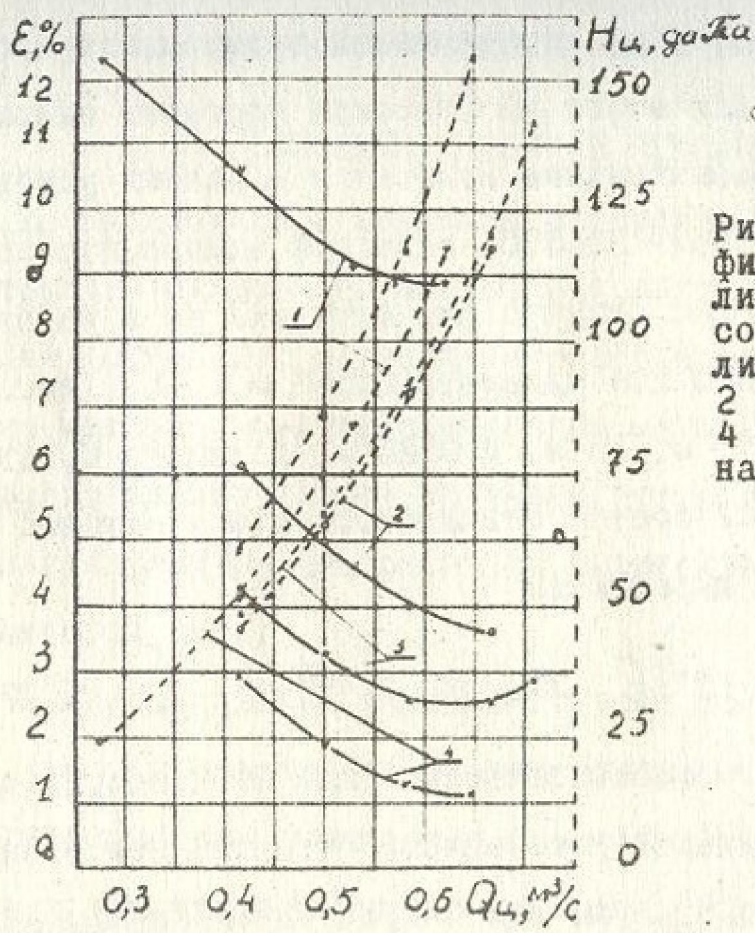


Рис. 8. Зависимости коэффициентов уноса (сплошные линии) и аэродинамических сопротивлений (пунктирные линии) циклонов: 1 - ЦОЛ; 2 - БЦШ; 3 - ОТИП и 4 - ОТИП-2 от воздушной нагрузки

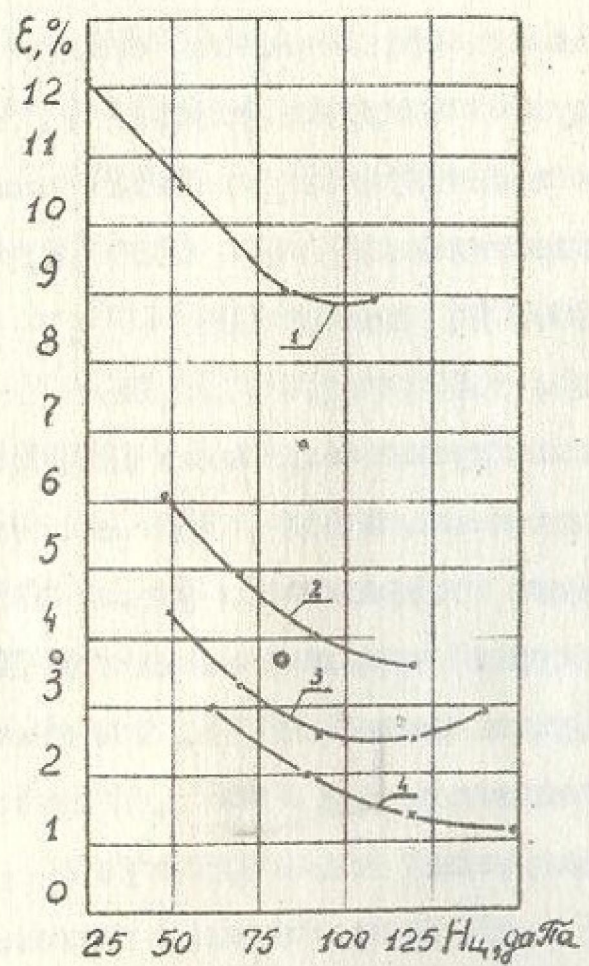


Рис. 9. Зависимости коэффициентов уноса циклонов: 1 - ЦОЛ; 2 - БЦШ; 3 - ОТИП; 4 - ОТИП-2 от аэродинамического сопротивления

Результаты лабораторных исследований проверили в производственных условиях. Для этого на Одесском портовом элеваторе были произведены сравнительные испытания в равных условиях при аспирации башмака нории НЦ-350, подающей единую партию зерна пшеницы в надвесовые бункера для отгрузки ее в железнодорожные вагоны, циклонов ЦОЛ (диаметр 0,560 м), БЦШ (диаметр 0,560 м), ОТИПШ (диаметр 0,585 м) и ОТИПШ-2 (диаметр 0,763 м).

Средний дисперсный состав отделяемой пыли в ситовой области характеризовался выражением

$$D = 89,00 + 3,00 \cdot 10^{-3} \delta - 142,00 e^{-1,26 \cdot 10^{-2} \delta}, \quad (17)$$

а в подситовой области - соответствовал пыли №7 (табл. I, рис. I).

В результате испытаний установлено, что как при равных воздушных нагрузках (рис. 8), так как и при равном аэродинамическом сопротивлении (рис. 9) лучшая эффективность была у циклона ОТИПШ-2. Затем в порядке снижения эффективности следуют циклоны ОТИПШ, БЦШ и ЦОЛ. При воздушной нагрузке равной $Q_{\text{в}} = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$ циклон ОТИПШ-2 имел величину коэффициента уноса $\epsilon = 1,0\%$ и аэродинамическое сопротивление $H_{\text{а}} = 1500 \text{ Па}$; циклон ОТИПШ - $\epsilon = 2,5\%$; $H_{\text{а}} = 1000 \text{ Па}$; циклон БЦШ - $\epsilon = 4\%$; $H_{\text{а}} = 1000 \text{ Па}$; циклон ЦОЛ - $\epsilon = 9,0\%$; $H_{\text{а}} = 1100 \text{ Па}$.

Следует отметить, что рекомендуемые нормальными ЦНИИПромзернопроект воздушные нагрузки на циклоны ЦОЛ и БЦШ не позволили изучить минимальные величины коэффициентов уноса. Так, при воздушной нагрузке, рекомендуемой нормалью на циклон ЦОЛ равной $0,417 \text{ м}^3/\text{с}$ коэффициент уноса равен $10,6\%$. При увеличении $Q_{\text{в}}$ - коэффициент уноса понижился $\epsilon = 9\%$. Для циклона БЦШ - рекомендуемая воздушная нагрузка $Q_{\text{в}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и $\epsilon = 5\%$, при $Q_{\text{в}} = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$ - $\epsilon = 4\%$. Сопротивление циклонов ЦОЛ, БЦШ и ОТИПШ при достижении минимальной величины коэффи-

циента уноса, практически одинаковы и равны 1000 Па.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Предложена и защищена авторским свидетельством схема конструкции циклонного аппарата с двукратной очисткой воздуха от пыли (ОТИП-2); в результате исследования которой с применением математико-статистического метода многофакторного планирования экспериментов получены статистическая модель и оптимальные параметры аппарата при отделении от воздуха зерновой элеваторной пыли.
2. Исследования условий подвода запыленного воздуха показали, что замена винтового тангенциального подвода в циклоне ОМЭИ плоским тангенциальным повышает эффективность пылеотделения и упрощает конструкцию аппарата.
3. Изучение распределения компонент скорости потока в циклонах с винтовым и плоским тангенциальными подводами позволило выяснить причины, приводящие к улучшению эффективности в циклоне с плоским тангенциальным подводом и заключающиеся в более целесообразном формировании нисходящего потока.
4. Установлено, что диск-экран, расположенный в пылесборнике вблизи от среза пылевыпускного отверстия, предотвращает взвихривание и унос восходящим потоком осевших в циклоне частиц пыли. Кроме того, действие экрана на циклонный процесс характеризуется уменьшением разрежения в пылесборнике, что устраняет присос воздуха через пылевыпускное отверстие при выпуске пыли непосредственно в атмосферу.
5. Полученный в результате усовершенствования циклона ОМЭИ (замена винтового тангенциального подвода плоским тангенциальным и установка в пылесборнике диска-экрана) циклон ОТИП при практически одинаковой эффективности пылеотделения с цик-

лоном УЦ-38 (лучшим из применяемых на зерноперерабатывающих предприятиях) отличается от последнего простотой конструкции, меньшими габаритными размерами и аэродинамическим сопротивлением.

6. Испытания циклонов ОТИПП-2, ОТИПП, БЦШ и ЦОЛ, проведенные в производственных условиях на Одесском портовом элеваторе, подтвердили лабораторные исследования. Получено, что циклоны ОТИПП-2 и ОТИПП имеют лучшую эффективность, чем циклоны 4БЦШ и ЦОЛ.

7. В настоящее время при проектировании аспирационных установок на элеваторах подбор циклонов производят без учета фракционной эффективности аппарата и дисперсного состава отделяемой пыли. Более обоснованно рассчитывать эффективность циклонов ОТИПП позволяют полученные в работе характеристики дисперсного состава (в ситовой и подситовой областях размеров) элеваторной пыли, образующейся в различных точках пылеотделения технологических схем элеваторов и графики фракционной эффективности циклонов ОТИПП.

8. На основании результатов проведенных экспериментальных исследований и производственных испытаний можно рекомендовать для обеспыливания воздуха, отработавшего в аспирационных сетях элеваторов, разработанные конструкции циклонов ОТИПП и ОТИПП-2; что будет способствовать улучшению санитарно-гигиенического состояния как воздушного бассейна, так и прилегающей территории элеваторов.

Основное содержание диссертации
в соавторстве опубликовано:

1. "Циклонный аппарат". Авторское свидетельство №292387 (заявка №1274031/23-26 с приоритетом от 23.IX.1968, МПК В 04с 5/12, УДК 66.044.61 (088.8)).
2. О методике определения эффективности отделения пыли от воздуха в отделителях. В сб. "Специальные вопросы гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред". Томск, 1971.
3. Исследование некоторых параметров, улучшающих эффективность циклонов конического типа. В сб. "Специальные вопросы гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред". Томск, 1971.
4. Циклонный аппарат ОТИПП для очистки отработанного воздуха от пыли. В сб. "Материалы II Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов". Одесса, 1971.
5. О подводе запыленного воздуха в циклоны конического типа. Изв. ВУЗов. Пищевая технология, №4, 1972.
6. Сравнительные испытания циклонов с винтовым и плоским подводами запыленного воздуха. В сб. научных трудов Магнитогорского института им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 1972.
7. О дисперсном составе зерновой пыли на элеваторах. Изв. ВУЗов. Пищевая технология. №1, 1973.

Материалы диссертации автором доложены:

1. XXXI, XXXII, XXXIII научная конференция ОТИПП им. М. В. Ломоносова, 1970, 1971, 1972 г.г.
2. Техническом Совещании в Министерстве заготовок РСФСР. Москва, 1971.
3. Всесоюзная конференция по специальным вопросам гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред. Томск, 1971.
4. Вторая Всесоюзная конференция по механике сыпучих материалов. Одесса, 1971.

Основные обозначения

ПФЭ - полный факторный эксперимент

ц.а. - циклонный аппарат

ц.э. - циклонный элемент

D - проход. Масса частиц (в процентном отношении),
имеющих линейный размер меньше δ

$D_{\text{ц}}$ - наружный диаметр циклона

$H_{\text{ц}}$ - аэродинамическое сопротивление циклона

$Q_{\text{ц}}$ - воздушная нагрузка на циклон

δ - характерный линейный размер частицы

ε - коэффициент уноса пыли из циклона, проскок