

Учреждение образования  
«Белорусский национальный технический университет»

УДК 697.921.42, 922.2

**КОРОЛЁВА ТАТЬЯНА ИВАНОВНА**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЕРЕВООБ-  
РАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,  
кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук**

**Минск 2002**

Работа выполнена в Полоцком государственном университете

- Научный руководитель – доктор технических наук, профессор ЛУГОВСКИЙ С.И., кафедра теплогазоснабжения и вентиляции Полоцкого государственного университета
- Научный консультант – доктор технических наук, профессор ХРУСТАЛЁВ Б.М., ректор Белорусского национального технического университета
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор ЖИХАР Г.И., кафедра тепловых и электрических станций Белорусского национального технического университета;
- кандидат технических наук, доцент ГАРКУША К.Э., зав.кафедрой «Энергетика» Белорусского государственного аграрного технического университета
- Оппонирующая организация – научно-исследовательское и проектно-технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт НИПТИС»

Защита состоится 27 декабря 2002 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.10 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65, корп. 1, ауд. 202.

Телефон ученого секретаря 202 97 29

Отзывы просим направлять по адресу: 220027 г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65, БНТУ, ученому секретарю совета Д 02.05.10. Тел./факс (017) 202 97 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «26» ноября 2002 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



Л.В. Нестеров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Интересы дальнейшего развития общества выявили настоятельную необходимость использования и внедрения ресурсосберегающих и экологически чистых технологий и производств. Разработка таких технологий и устройство соответствующих систем требуют длительного времени и крупных капиталовложений.

В Республике Беларусь в силу природных условий получила значительное развитие деревообрабатывающая промышленность. Производства, связанные с деревообработкой, потребляют значительное количество тепловой и электрической энергии за счет затрат на вентиляцию, оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Состояние воздушной среды на предприятиях деревообрабатывающей промышленности не отвечает современным санитарно-гигиеническим требованиям, вследствие повышенной запыленности воздуха в помещениях и на прилегающих территориях.

Учитывая вышеизложенное, актуальность принятой к исследованию темы состоит в теоретической и экспериментальной разработке с обоснованием комплекса мероприятий по превращению вентиляции деревообрабатывающих предприятий в экологически чистые системы с пониженными энергозатратами.

**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Работа выполнена в рамках республиканской научно-технической программы по разработке и внедрению в практику проектирования и строительства научно обоснованных инженерно-технических и технологических решений и является составной частью и одним из завершенных разделов научной тематики Полоцкого государственного университета: тема ГБ 1497 «Разработка теории прогрессивных экологических и энергосберегающих технологий для оптимальных систем вентиляции зданий различного назначения», 1997 – 1998 гг. и ГБ 1920 «Разработка научных основ и исследование энергосберегающих технологий в системах вентиляции различных зданий», 2000 – 2001 гг.

**Цель и задачи исследования.** Цель диссертационной работы заключается в теоретической разработке и экспериментальном обосновании методов, технических средств рациональной организации систем вентиляции деревообрабатывающих предприятий для снижения их энергоемкости, устранения запыленности в помещениях и в вентиляционных выбросах в атмосферу. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

- на основании анализа и обобщения данных научно-технической литературы и производственной практики установить имеющиеся недостатки в работе систем аспирации и наметить пути их совершенствования;

- разработать теоретические основы и оптимальные конструкции устройств систем аспирации, позволяющих повысить степень локализации пылевыведений, сократить длину транспортирования основной массы древесных отходов, повысить эффективность пылеочистного оборудования, снизить расход воздуха;

- определить возможности совместной работы систем аспирации и общеобменной вентиляции;
- определить рациональные способы подачи и распределения приточного воздуха в помещениях; исследовать возможности снижения энергоемкости сетей общеобменной вентиляции за счет применения элементов с минимальным сопротивлением;
- разработать энергоэффективные схемы рециркуляции воздуха при работе местных и общеобменных систем вентиляции;
- провести эксперименты и сравнить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

**Объект и предмет исследования.** В диссертации проведены исследования работы кустовых систем аспирации деревообрабатывающих цехов и отдельных элементов этих систем; способов подачи приточного воздуха в помещения; сопротивлений тройников общеобменных систем вентиляции; возможности применения рециркуляции воздуха в цехах.

**Гипотеза.** Снижение энергоемкости и улучшение экологических свойств систем вентиляции деревообрабатывающих предприятий за счет усовершенствования кустовых систем пневмотранспорта, взаимоувязки их работы с общеобменными системами вентиляции и применения эффективного оборудования.

**Методология и методы проведенного исследования.** В основу положены теоретические исследования с привлечением математического аппарата к физическим моделям происходящих процессов, а также численные методы определения на ЭВМ размеров вертикального аспирационного коллектора-сборника. Проведен факторный анализ и экспериментальные исследования работы модернизированной кустовой системы пневмотранспорта.

**Научная новизна и значимость полученных результатов работы.**

На основе комплекса экспериментальных и теоретических исследований предложено решение проблемы взаимоувязки работы систем аспирации и общеобменной вентиляции с использованием новых энергоэффективных устройств, что позволило на основе применения новых элементов в системе пневмотранспорта снизить воздухопотребление и потери давления. Это привело к уменьшению энергетических затрат и металлоемкости системы, что имеет важное значение для практики инженерно-строительного производства, рационального использования сырья и энергоресурсов, охраны окружающей среды.

Выполнены теоретические и экспериментальные обоснования и разработаны новые схемы организации воздухообмена в цехах деревообработки с использованием рециркуляции вытяжного воздуха с целью экономии тепловой и электрической энергии и превращения этих цехов в экологически чистые производства.

На основании полученных зависимостей построены графики:

- для определения размеров предложенной конструкции вертикального аспирационного коллектора-сборника в зависимости от расхода воздуха и концентрации материала;
- изменения лобовой площади створки стабилизатора скорости от угла ее поворота и действующей на нее аэродинамической силы;
- для определения величины отклонения створки стабилизатора скорости на входе в циклон от расхода воздуха.

В результате проведенных экспериментов и теоретических расчетов получены:

- зависимости, позволяющие определять аэродинамические характеристики и перепад давления всей системы пневмотранспорта и отдельных ее участков при изменении количества работающих станков;
- зависимости для определения степени улавливания отходов в коллекторе-сборнике и циклоне и концентрации пыли в воздушных выбросах;
- графики, впервые позволяющие при подборе коэффициентов местных сопротивлений тройников снизить энергоемкость сетей общеобменных систем вентиляции за счет учета соотношения диаметров элементов круглых воздуховодов, а также соотношения размеров прямоугольных участков воздуховодов и их взаиморасположения;
- методика расчета отдельных элементов усовершенствованной кустовой системы пневмотранспорта.

**Практическая значимость полученных результатов.** Результаты экспериментальных и теоретических исследований послужили научной основой для изучения работы систем пневмотранспорта деревообрабатывающих предприятий с целью обоснования необходимости взаимоувязки работы этих систем с системами общеобменной вентиляции и создания новой технологии улавливания и транспортирования древесных отходов, обеспечивающей существенное снижение расхода электроэнергии и металла. Разработаны новые конструкции отдельных элементов и системы пневмотранспорта деревообрабатывающих предприятий:

- автоматически действующие поворотные клапаны для снижения воздухопотребления за счет отключения от аспирационной сети отсосов от неработающих станков;
- стабилизатор скорости на входе воздуха в корпус циклона для поддержания необходимой скорости воздушного потока, что делает эффективной работу циклона;
- аспирационный вертикальный коллектор-сборник для улавливания древесных отходов;
- перфорированные воздухораспределители для рациональной работы общеобменных систем вентиляции;
- схемы организации воздухообмена с использованием рециркуляции вытяжного воздуха с соответствующим способом очистки запыленного воздуха в зависимости от вредностей, выделяющихся в цех, что позволяет эконо-

мить тепловую и электрическую энергию, улучшать санитарно-гигиенические условия в цехах и устранять запыленность прилегающей территории.

Методические принципы расчета положены в основу подбора малоэнергоемких конструкций тройников общеобменных систем вентиляции, позволяющих снизить энергетические затраты при работе этих систем.

Результаты экспериментальных, теоретических исследований и методические разработки внедрены на деревообрабатывающих предприятиях г. Новополоцка ООО «Экстра» (акт от 3.02.2000 г.) и УЖ 15/10 (акт от 12.11.1998 г.), в проектных организациях БелГПИ, г. Витебск (справка от 24.09.02 г.), проектно-институте реконструкции строительства при ПГУ (акт от 3.10.2002 г.), в учебном процессе при изложении дисциплин инженерно-строительного профиля и охраны окружающей среды кафедры ТГСВ ПГУ (акт от 8.10.2001 г.) и кафедры промэкологии ВГТУ, г. Витебск (акт от 11.11.2002 г.).

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

На защиту автором работы выносятся:

- результаты экспериментально-теоретических разработок по усовершенствованию кустовой системы пневмотранспорта, научные основы выбора режимных и конструктивных параметров новых элементов для систем пневмотранспорта;
- математическая модель экспериментального коллектора-сборника для определения зависимости его эффективности от определяющих факторов;
- аналитические и графические зависимости для расчета и подбора новых конструктивных элементов систем пневмотранспорта и общеобменной вентиляции;
- новые технологические схемы эффективных общеобменных систем вентиляции деревообрабатывающих цехов с использованием рециркуляции воздуха, позволяющие увязать работу этих систем с работой аспирационных систем;
- теоретические результаты исследований предлагаемых схем и экспериментальные результаты исследований работы новых конструкций воздухораспределителей и тройников общеобменных систем вентиляции для рациональной и энергоэффективной организации работы общеобменной вентиляции деревообрабатывающих цехов;
- методика расчета отдельных элементов усовершенствованной кустовой системы пневмотранспорта.

**Личный вклад соискателя.** Непосредственное участие в разработке теоретических основ усовершенствованной кустовой системы аспирации.

Получены зависимости для расчета аспирационного вертикального коллектора-сборника, соленоидного клапана и стабилизатора скорости, предложенных для усовершенствования систем аспирации.

Получены и обобщены результаты расчета на ЭВМ размеров вертикального аспирационного коллектора-сборника, что позволило разработать методику графического определения этих размеров.

Проведены экспериментальные исследования модернизированной системы аспирации деревообрабатывающих цехов, разработаны конструкции основных элементов, на основе которых созданы аспирационные системы, внедренные в производство.

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования по организации общеобменной вентиляции с применением предлагаемых перфорированных воздухораспределителей, а также определены сопротивления оптимальных конструкций тройников, позволяющих экономить энергию при работе этих систем.

Автор участвовал в разработке различных вариантов схем систем вентиляции с рециркуляцией воздушных выбросов и лично разработал схемы рециркуляции с сухой очисткой воздуха от примесей; провел ряд экспериментальных исследований на лабораторных стендах и полупромышленных установках.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы представлены и получили положительную оценку:

- на научно-технической конференции в рамках проблемы «Наука и мир», Брест, 1994 г.;
- на Международной 53-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА, Минск, 1999 г.;
- на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 1994 – 1997 гг.;
- на Международной научно-технической конференции «Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении», ВГТУ, Витебск, 1999 г.;
- на XXXII – XXXV научно-технических конференциях преподавателей и студентов, ВГТУ, Витебск, 1999 – 2002 гг.;
- на заседаниях кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» ПГУ, Новополоцк, 2000 – 2002 гг.;
- на научно-практической конференции Полоцкого государственного университета по результатам фундаментальных и прикладных исследований, выполненных кафедрами в 2000 году, Новополоцк, 2001.

**Опубликованность результатов:** по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 9 статей, 5 тезисов докладов научной конференции, 1 патент Республики Беларусь на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов, списка использованных литературных источников, включающих 111 наименований, приложений. Объем рукописи составляет 172 страницы основного текста, в том числе 38 рисунков, 15 таблиц, 18 страниц приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приведен обзор и анализ научно-технической литературы, содержащей сведения о существующих схемах систем пневмотранспорта и аспирации. Здесь приводится анализ работы этих систем при транспортировании различного материала, сравниваются методики расчета систем с учетом скоростей витания, транспортирования и затрат энергии на перемещение материала. Описываются существующие схемы систем вентиляции в цехах деревообработки различных предприятий, анализируется характер выделяющихся вредностей на деревообрабатывающих производствах и их влияние на состояние здоровья человека.

Проведенный анализ работы различных систем пневмотранспорта и существующих методов их расчета позволил сделать следующие выводы:

- в рассматриваемых конструкциях пневмотранспорта мало уделяется внимания уменьшению технологических затрат и не определены пути удешевления стоимости этого вида транспорта;
- не достаточно освещены вопросы создания экологически чистых систем аспирации;
- не эффективно используется теплота отработавшего воздуха систем пневмотранспорта;
- в имеющихся литературных источниках не освещаются вопросы взаимосвязки работы систем пневмотранспорта и аспирации с общеобменной вентиляцией.

На основе этого поставлены задачи и приведены методы, с помощью которых намечены пути сокращения затрат тепловой и электрической энергии и улучшения экологической обстановки в деревообрабатывающих цехах.

Во второй главе представлены теоретические исследования, направленные на снижение воздухопотребления и затрат электроэнергии кустовых систем пневмотранспорта за счет их модернизации, для чего предлагается установить:

- в центре расположения станков вертикальный коллектор-сборник, в котором осаждаются древесные отходы, благодаря чему сокращается путь транспортирования крупных частиц и их концентрация;
- в материалопроводах у отсосов станков автоматически действующие поворотные клапаны для снижения воздухопотребления за счет отключения от пневмосети отсосов неработающих станков;
- стабилизатор скорости на входе сборного материалопровода в корпус циклона для поддержания постоянной скорости подачи воздуха.

Схема усовершенствованной системы применительно к наиболее распространенной кустовой системе пневмотранспорта представлена на рис. 1. В центре расположения станков и их отсосов 9 размещается вертикальный коллектор-сборник 3, к верхней части которого присоединяются материалопроводы 2 от приёмников отходов, подключенных к станкам. Основное назначение коллектора-сборника состоит в том, чтобы в нём выпадала из воздушного потока основная масса частиц древесных отходов (стружка, опилки и частично пыль). Выпадение их происходит из-за резкого уменьшения скорости



воздуха в коллекторе, имеющем значительно больший диаметр (в 8 – 10 раз), чем диаметр материалопроводов приёмников отходов. Кроме того, оседанию отходов способствует закручивание воздушного потока в верхней части коллектора-сборника за счёт применения тангенциального подключения к его корпусу материалопроводов от станков. Осевшие в коллекторе под действием собственного веса отходы дальше по материалопроводам систем пневмотранспорта не перемещаются и не попадают на очистку в циклон 6, что снижает расход электроэнергии на 15 – 20 %.

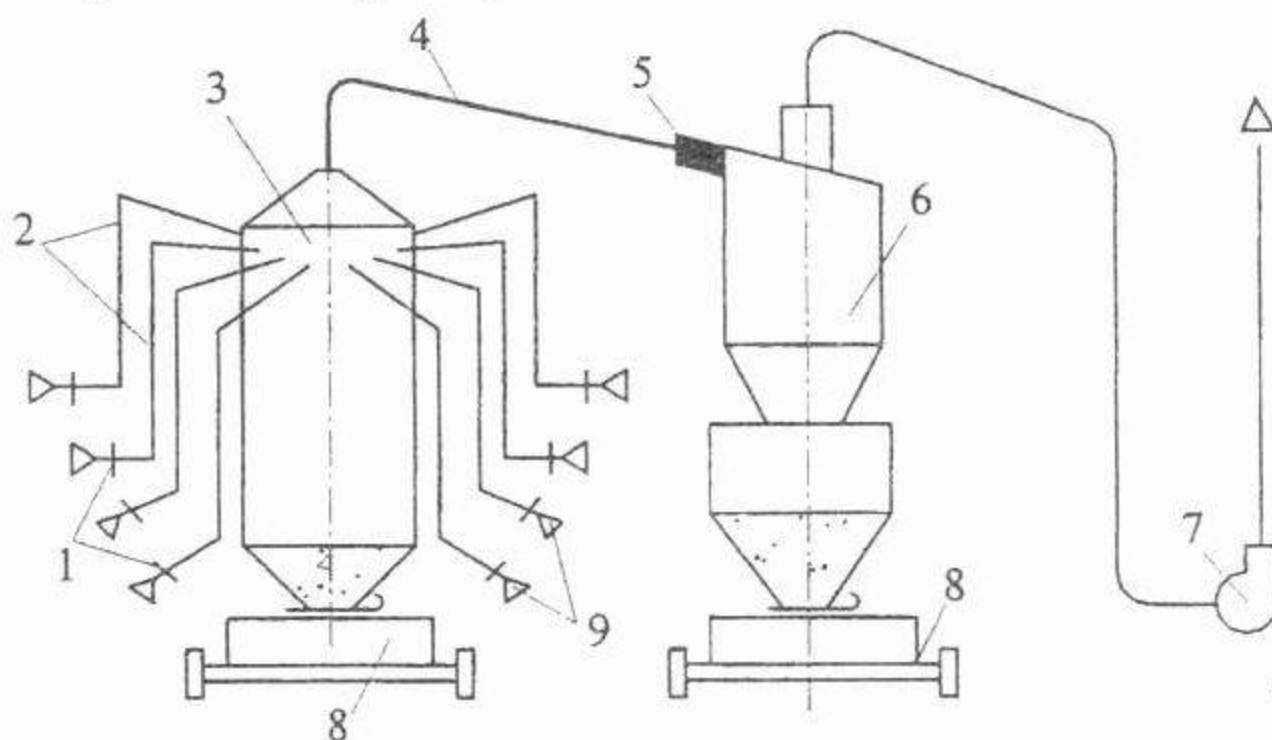


Рис. 1. Схема усовершенствованной кустовой системы пневмотранспорта

Высота и объём коллектора-сборника должны быть такими, чтобы в нем помещалось количество осевших древесных отходов, получаемое от станков при их работе в течение заданного времени. Удаление отходов из коллектора производится путём выпуска их в кузов тележки 8 или на транспортёр.

Объём отходов,  $m^3$ , осевших в коллекторе в течение заданного времени, будет

$$V_o = \sum_{i=1}^n G_{o,i} \cdot \rho_o^{-1} \cdot \tau \cdot \delta, \quad (1)$$

где  $G_{o,i}$  – количество отходов, поступающих от данного станка, кг/ч;  $\rho_o$  – плотность отходов в насыпке,  $kg/m^3$ ;  $\tau$  – время, в течение которого заполняется коллектор до допустимого уровня, ч;  $\delta = 0,9...0,95$  – коэффициент, учитывающий долю осевших в коллекторе отходов;  $n$  – число станков, подключенных к коллектору-сборнику.

Расчет диаметра центральной цилиндрической части коллектора, м, осуществляется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho_v \cdot v_v}}, \quad (2)$$

где  $G$  – расход воздуха, проходящего через коллектор, кг/ч;  $\rho_v$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ ;  $v_v$  – скорость воздуха, м/с.

Общая высота коллектора-сборника, м, определяется по формуле

$$H = 1,27 \cdot V_o / D^2 + 0,37 \cdot D + 0,3. \quad (3)$$

Составлена программа расчета размеров коллектора-сборника на ЭВМ в пакете MathCAD 7. В результате расчета получены графики для определения диаметра и высоты коллектора-сборника в зависимости от расхода воздуха и концентрации древесных отходов.

Регулирование количества воздуха, отсасываемого вентилятором 7 в зависимости от числа одновременно работающих станков, осуществляется вентиляционными клапанами 1. Эти клапаны монтируются в материалопроводы 2 непосредственно у отсосов 9 каждого станка. С помощью вентиляционных клапанов, электрически связанных со станками, автоматически отключаются от пневмосети все неработающие в данное время станки, в результате чего вентилятор 7 отсасывает соответственно меньшее количество воздуха, и за счёт этого потребляет пониженную мощность.

Величина усилия,  $H$ , для открытия створки клапана определяется по формуле

$$F = \left( \Delta p \cdot f + \frac{f^2 \cdot \pi^2}{24 \cdot \tau^2} \cdot \rho_a + 0,35 \cdot \frac{L_g^2}{f} \cdot \rho_a \right) \cdot \frac{l_1}{l_2 \cdot \sin \beta}, \quad (4)$$

где  $\Delta p$  – величина разряжения в материалопроводе, Па;  $f$  – площадь полотна створки клапана, м<sup>2</sup>;  $L_g$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\tau$  – время полного открытия створки клапана, с;  $l_1$  – длина плеча рычага створки клапана, м;  $l_2$  – длина плеча рычага якоря соленоида, м;  $\beta$  – угол между стенкой корпуса клапана и плечом рычага якоря соленоида при крайнем нижнем или верхнем его положении, град.

При одновременной работе малого числа станков резко падает транспортирующая скорость воздуха в сборном материалопроводе 4, что ухудшает эффективность очистки воздуха от пыли в циклоне 6. Поэтому на входе воздуха в циклон предусматривается установка стабилизатора скорости 5, поддерживающего скорость воздуха на допустимом постоянном уровне независимо от числа одновременно работающих станков. Стабилизатор скорости устанавливается в месте сопряжения корпуса циклона с тангенциальным патрубком и представляет собой косую створку, к которой с тыльной стороны прикреплен пружина. Площадь открывающегося сечения входного патрубка циклона тем больше, чем больше скорость движения воздуха.

Сила воздействия воздуха на лобовую площадь створки,  $H$ , будет

$$F = l_c \cdot h_c \cdot \sin \gamma \cdot \frac{L_g^2}{2 \cdot a_1^2 \cdot b_1^2} \cdot \rho_a, \quad (5)$$

где  $l_c$  и  $h_c$  – соответственно длина и высота створки стабилизатора скорости, м;  $\gamma$  – угол поворота створки, град;  $a_1$  и  $b_1$  – соответственно высота и ширина сечения тангенциального патрубка, м.

Сила воздействия воздуха на створку стабилизатора скорости имеет квадратическую зависимость от расхода воздуха, что видно из рис. 2.

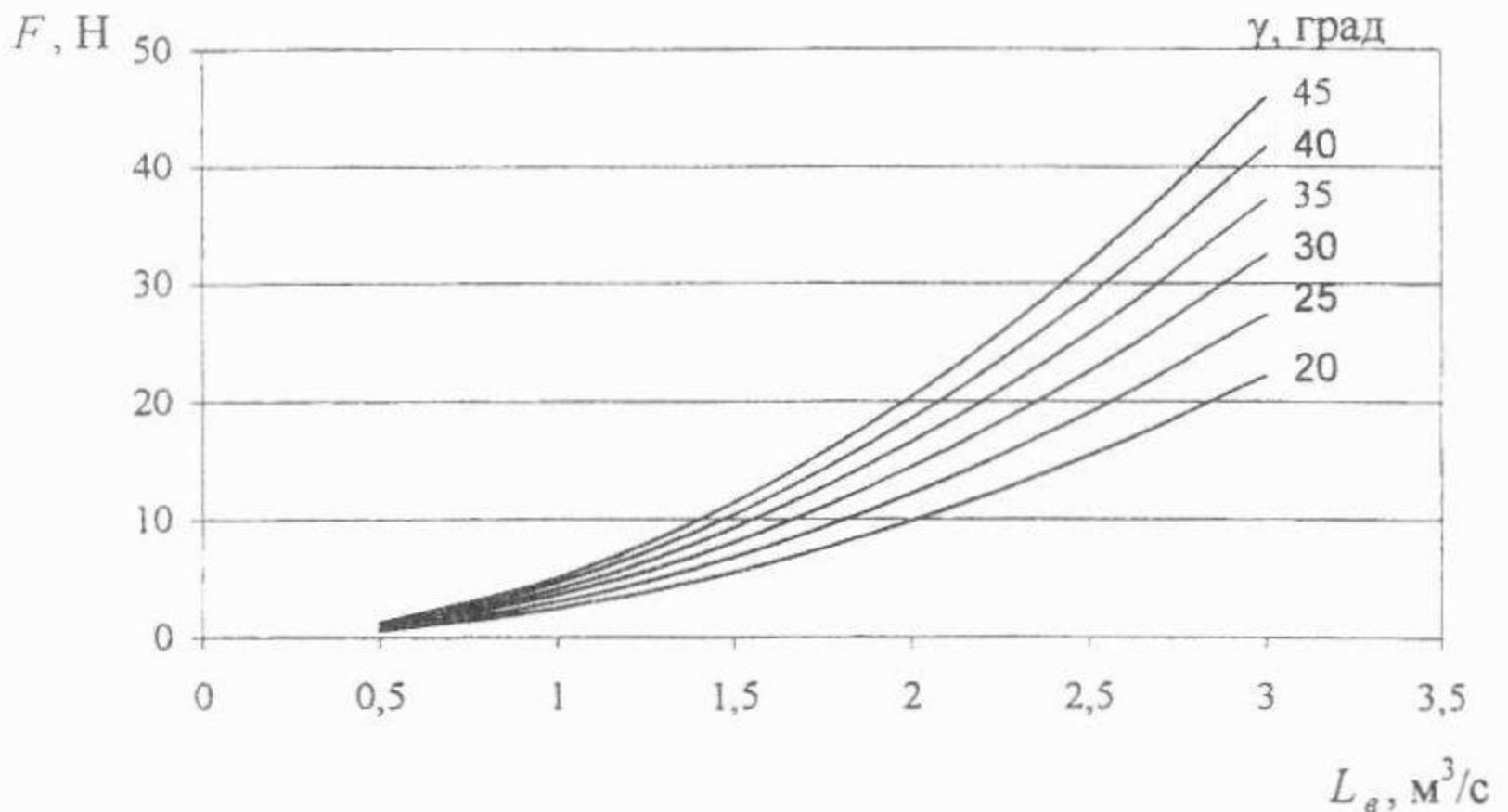


Рис. 2. Зависимость силы воздействия воздуха на створку стабилизатора скорости от расхода воздуха и угла поворота створки

Необходимое отклонение створки стабилизатора по ширине входного сечения отверстия, м, должно составлять

$$b_x = L_v / v \cdot a_1, \quad (6)$$

где  $v$  — необходимая скорость воздуха во входном отверстии циклона, м/с.

Величина отклонения створки стабилизатора скорости в зависимости от расхода и скорости воздуха во входном отверстии циклона представлена на рис. 3.

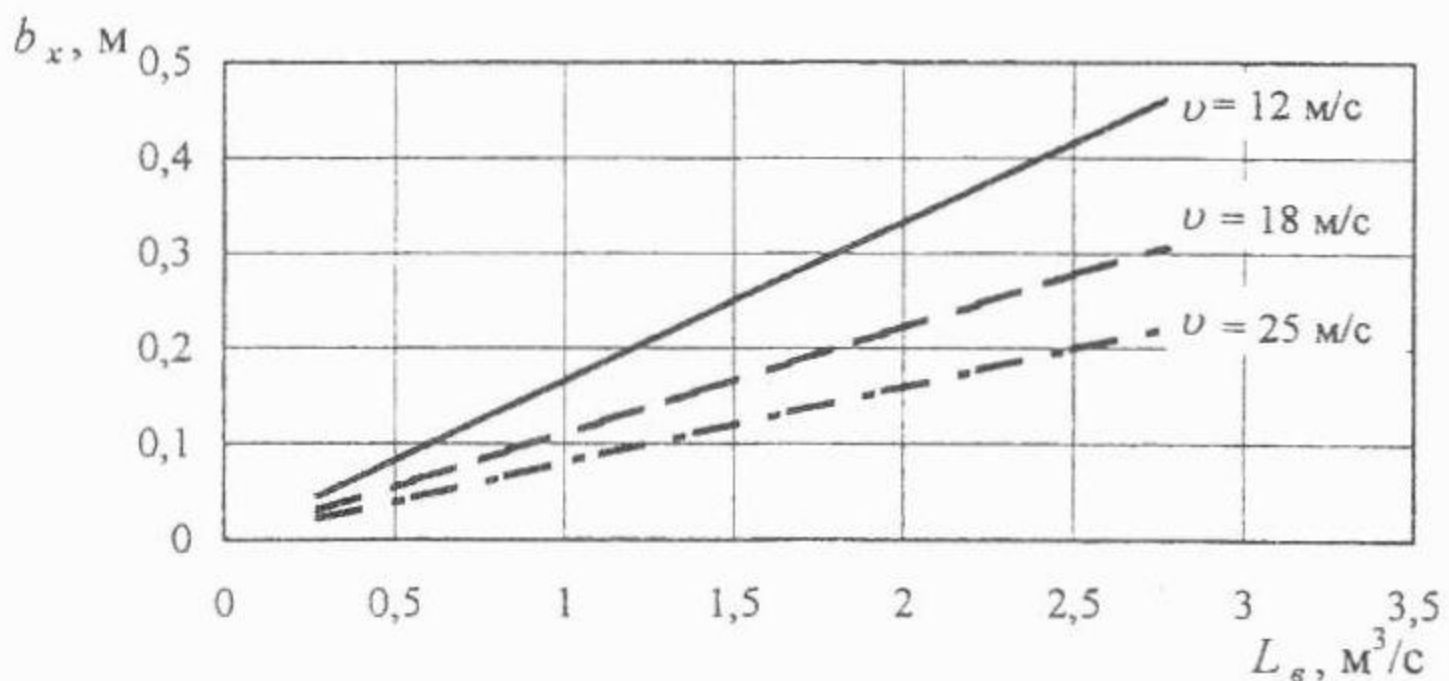


Рис. 3. Зависимость величины отклонения створки стабилизатора скорости от расхода воздуха

В третьей главе приведены: общая методика планирования и проведения эксперимента; описание экспериментальной установки и приборного оснащения экспериментов; результаты экспериментальных исследований.

Для оперативной количественной оценки эффективности предлагаемого для систем пневмотранспорта древесных отходов в качестве первой ступени очистки вертикального коллектора-сборника и оптимизации режимов его работы применено планирование эксперимента, составлена матрица планирования результатов эксперимента и выведена модель процесса

$$\eta_k = 86,5 + 0,012 \cdot L + 0,158 \cdot L \cdot \mu - 24 \cdot \mu, \quad (7)$$

где  $\eta_k$  – эффективность экспериментального коллектора-сборника, %;  $L$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\mu$  – концентрация смеси, кг/кг.

Основные экспериментальные исследования усовершенствованной кустовой системы аспирации были проведены на полупромышленной установке, представленной на схеме (см. рис. 1). Древесные отходы при помощи центробежного вентилятора по материалопроводам поступали в сборный вертикальный коллектор, где основная масса материала оседала. Выпавшие в коллекторе отходы выгружали из бункера и взвешивали на весах. Не осевшая в сборнике древесная пыль далее поступала в циклон, где значительная часть ее улавливалась. Осевшую в циклоне пыль взвешивали на весах. Сравнение начальной массы древесных отходов и конечной позволило определить эффективность работы коллектора-сборника, циклона, концентрацию пыли в воздушных выбросах. Эксперименты проводили, изменяя количество работающих отсосов от одного до десяти. При этом на электрощите измеряли затрачиваемую величину электрического тока и его напряжение. На основании полученных данных устанавливали расход электрической энергии при различных режимах работы кустовой системы пневмотранспорта. Кроме того, проводили испытания отдельных новых узлов кустовой системы пневмотранспорта: стабилизатора скорости для циклона и поворотного створчатого клапана, служащего для отключения неработающих станков от пневмосети. В задачу исследования стабилизатора скорости входило его испытание при изменяющемся расходе воздуха с определением величины входной скорости воздуха в корпус циклона. При проведении испытания опытного образца стабилизатора скорости для циклона определяли размеры полотна его створки, давление воздуха до и после стабилизатора, что позволило установить величину коэффициента его местного сопротивления.

В зависимости от величины динамического давления на створку стабилизатора, поворачивающуюся при изменении расхода воздуха, измеряли величину отклонения створки во входном сечении циклона и входную в циклон скорость воздуха (рис. 4).

Отдельно проводили испытания пружины, которая в стабилизаторе скорости противодействует отклонению створки. При помощи динамометра определяли усилие пружины при работе ее на растяжение и сжатие.

Целью испытания поворотного клапана, отключающего неработающие станки, являлась проверка его работоспособности во времени. Для этого был изготовлен опытный образец клапана. При включении его соленоида в электросеть при помощи секундомера фиксировали время открытия его створки, а при отключении от сети – время ее закрытия. Клапан обладает надежностью в работе и быстродействием, время его открытия и закрытия составляет по 0,2 с.

На экспериментальной аспирационной модернизированной установке были произведены замеры расхода воздуха и перепада давления, определены значения аэродинамических характеристик для сети коллектора-сборника и отдельно для сети всей установки при десяти режимах ее работы, создаваемых различным числом включенных пневмоотсосов. По найденным величинам аэродинамических характеристик было построено семейство кривых  $\Delta p = f(L)$  в режиме транспортирования древесных отходов.

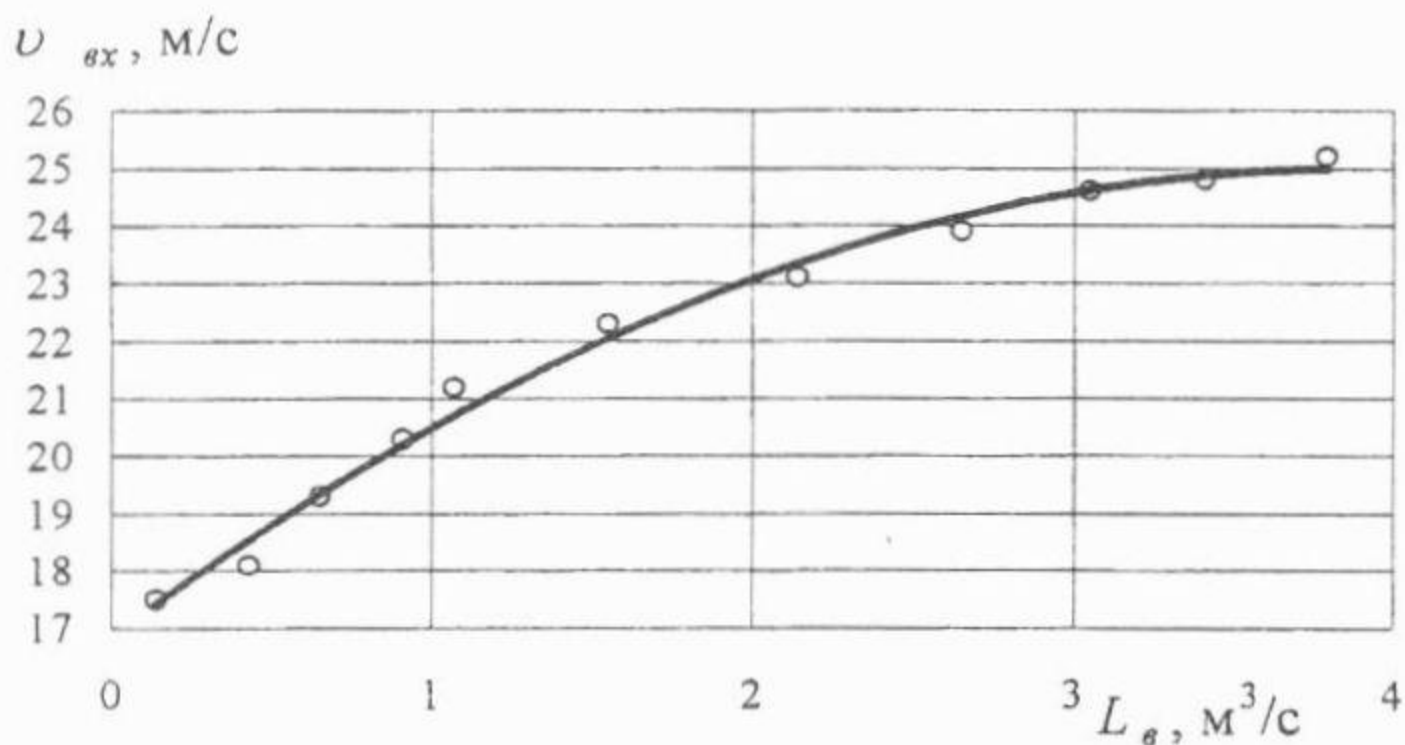


Рис. 4. Изменение входной скорости воздуха в циклон при наличии стабилизатора скорости

Изменение числа работающих станков влечет за собой изменение величины аэродинамической характеристики пневмосети и количества отсасываемого вентилятором воздуха, причем расход воздуха находится в линейной зависимости от числа работающих отсосов, а величина аэродинамической характеристики общей сети и сети коллектора-сборника подчиняется параболическому закону (рис. 5).

Степень улавливания отходов при работе модернизированной системы пневмотранспорта показана на рис. 6.

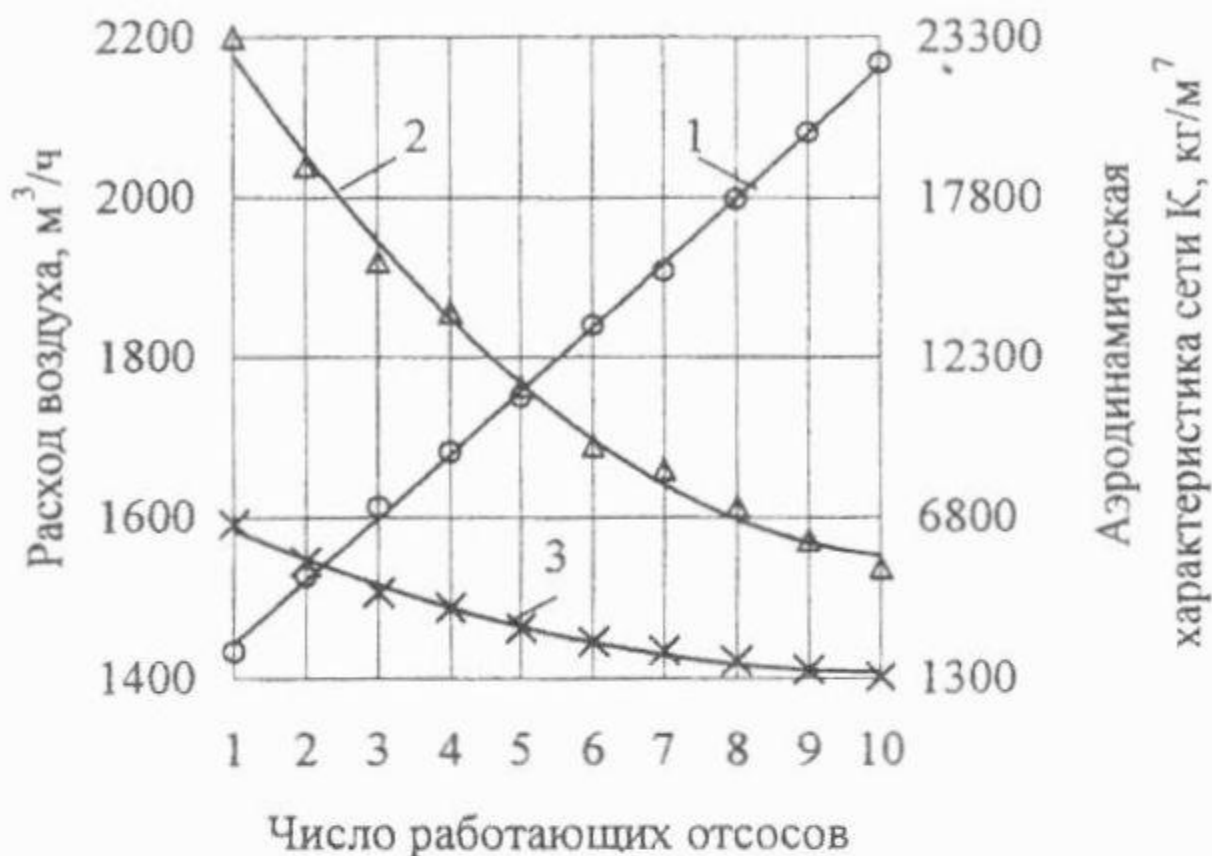


Рис. 5. Аэродинамические параметры пневмоустановки:  
 1 – расход воздуха; 2 – аэродинамическая характеристика пневмоустановки;  
 3 – аэродинамическая характеристика сети коллектора-сборника

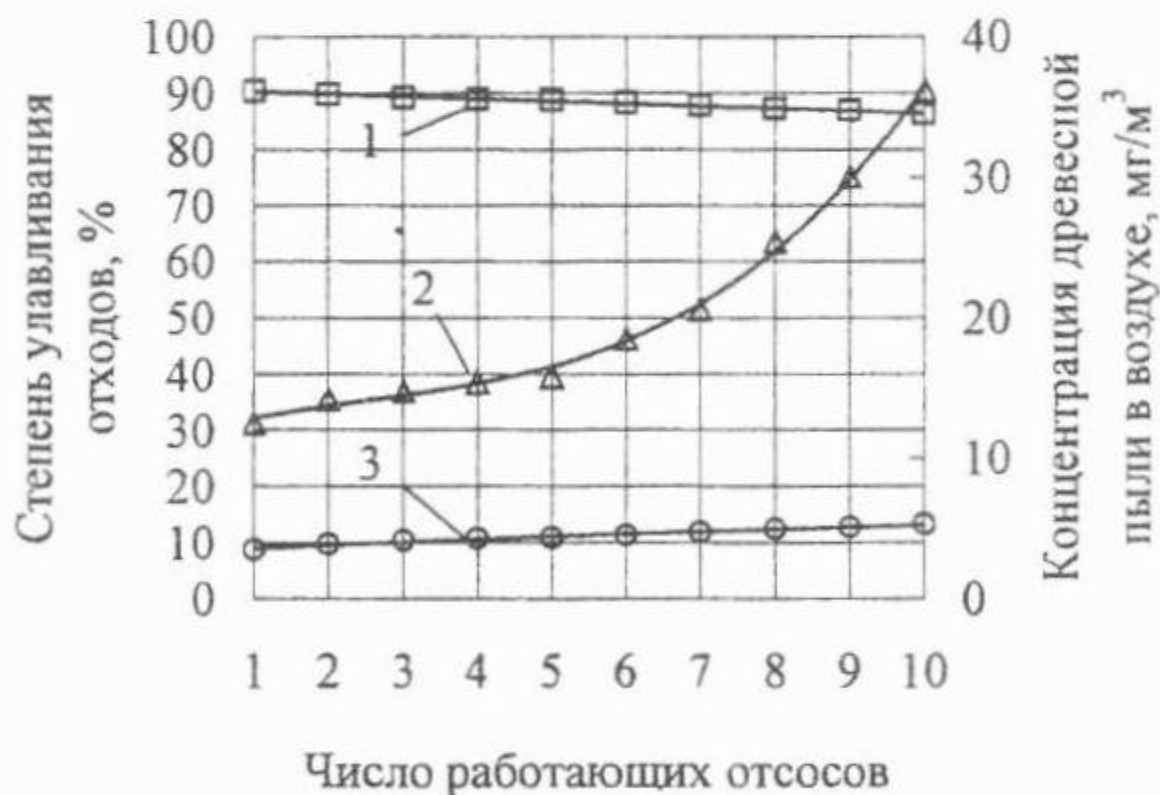


Рис. 6. Степень улавливания отходов при работе модернизированной системы пневмотранспорта:  
 1 – количество отходов, уловленных в коллекторе-сборнике; 2 – концентрация пыли в воздушных выбросах; 3 – количество отходов, уловленных циклоном

Анализ зависимостей (см. рис. 5, 6) позволяет утверждать, что:

– аэродинамическая характеристика, а, следовательно, и сопротивление сети коллектора-сборника при десяти режимах работы составляет незначительную часть сопротивления сети всей установки;

– отключение от пневмосети временно неработающих станков, несмотря на некоторое увеличение сопротивления сети, за счет уменьшения расхода воздуха существенно снижает энергозатраты на пневмотранспорт; если учесть обычно принимаемый коэффициент одновременности работы станков, равным 0,6, то в проведенном опыте потребляемая мощность электроэнергии уменьшается на 21,2 %;

– основная масса древесных отходов (86 – 90 %) оседает в вертикальном коллекторе-сборнике и отпадает необходимость в дальнейшем их транспортировании дорогим пневматическим способом, требующим значительных затрат электрической энергии; наблюдается тенденция к некоторому незначительному уменьшению оседающей в коллекторе массы отходов с увеличением числа одновременно работающих отсосов, что объясняется различием режимов поступления отходов в корпус коллектора; для устранения этого недостатка необходимо воздухопроводы отсосов присоединять к корпусу коллектора наклонно вниз под углом 40 – 50°;

– дополнительная экономия электроэнергии порядка 40 % достигается вследствие того, что древесные отходы перемещаются по материалопроводам на короткое расстояние от станков до коллектора-сборника, что ведет к снижению потерь давления;

– в циклон попадает лишь 8 – 13 % от всей массы мелких по фракциям отходов, причем с увеличением числа одновременно работающих отсосов нагрузка на циклон несколько возрастает, хотя степень очистки остается почти на постоянном достаточно высоком уровне (93 – 97 %), что объясняется наличием стабилизатора скорости и весьма малой массой выбрасываемой в атмосферу мелкодисперсной пыли;

– изменение расхода воздуха в пневмосети практически не изменяет режим работы циклона благодаря регулируемому действию стабилизатора входной в циклон скорости; в циклоне осаждаются 6 – 8 % пыли крупных фракций, а 3 – 7 % мелкодисперсной пыли выбрасывается в атмосферу;

– абсолютная величина концентрации пыли в воздушных выбросах увеличивается в нашем случае в 3 раза по мере роста массы транспортируемых отходов, однако в относительном выражении это мало влияет на степень очистки воздуха от пыли. Вместе с тем степень очистки воздуха циклоном зависит от количества тонкодисперсной пыли в древесных отходах: она соответственно снижается с увеличением содержания в отходах такой пыли.

**В четвертой главе** даны рекомендации по выбору эффективных систем вентиляции, позволяющих тщательно очищать от пыли воздух, выбрасываемый в атмосферу, и частично возвращать его в цех. Рециркуляция воздуха после систем пневмотранспорта имеет большую экономическую перспективу, так как возможно уменьшение расхода тепловой и электрической энергии. Это предопределяет практическую ценность предложений и решений, касающихся предлагаемой модернизации систем пневмотранспорта и высококачественной очистки воздуха от древесной пыли. Новая технология пре-

дусматривает обязательное применение дополнительной ступени очистки выбрасываемого циклоном воздуха от мелкодисперсной древесной пыли. Для этой цели рекомендовано несколько способов очистки воздуха с применением волокнистого фильтра с пневмоимпульсной регенерацией, туманообразователя или гидрофильтра для очистки от лаковой пыли.

Применение второй ступени очистки воздуха от пыли дает возможность применять пневмотранспорт как экологически чистые технологические системы и позволяет рекомендовать в отдельных случаях рециркуляцию воздуха, потребляемого пневмотранспортом с целью экономии его тепловой энергии. По указанному принципу разработано несколько вариантов технологических схем, которые могут быть использованы для тех или иных конкретных условий. Один из предлагаемых вариантов представлен на рис. 7.

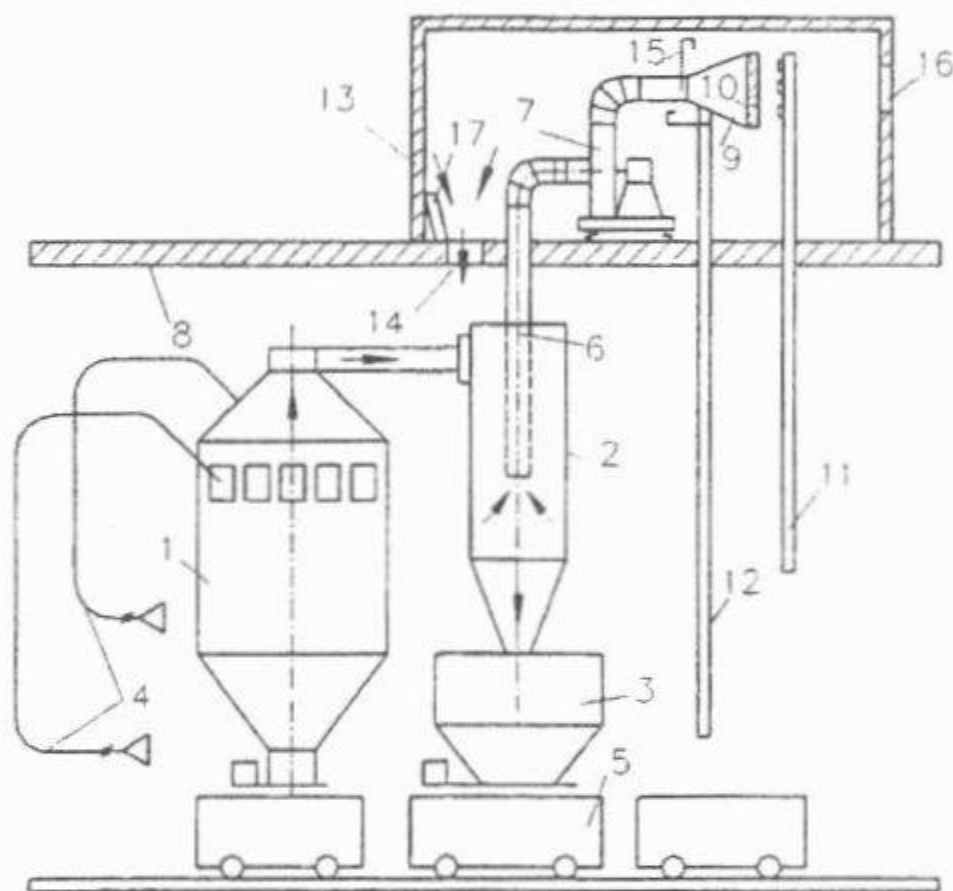


Рис. 7. Схема модернизированной системы аспирации с рециркуляцией воздушных выбросов:

1 - коллектор-сборник; 2 - циклон; 3 - бункер; 4 - материалопроводы от станков; 5 - вагонетка; 6 - выхлопная труба циклона; 7 - вентилятор; 8 - крыша; 9 - диффузор; 10 - волокнистый фильтр; 11 - пневмотруба с форсунками; 12 - спуск для пыли при регенерации фильтра; 13 - утепленная камера; 14 - проем для прохода очищенного рециркуляционного воздуха; 15 - задвижка; 16 - отверстие для выброса воздуха наружу летом; 17 - открывающийся откидной клапан

Проведен аэродинамический расчет воздухопроводов и вентагрегатов, входящих в кустовую систему пневмотранспорта всех ее вариантов при расходе воздуха  $L_g = 12240 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Результаты расчета показали, что традиционно применяемый базовый вариант системы со второй ступенью очистки воздуха в рукавном фильтре обладает потерей давления на 27 – 39 % большей, чем любой вариант модернизированной системы. Поскольку в каждом предлагаемом варианте системы применена рециркуляция воздуха, потребляемого



пневмотранспортом, то в холодный период года не потребуется нагрев этого воздуха, за счет чего получается значительная экономия тепловой энергии. Экономия электроэнергии в свою очередь получается от снижения энергопотребления ввиду модернизации системы, которая позволяет снизить мощность электродвигателя вентилятора на 7,2 – 10,6 кВт. Кроме того, применение клапанов, отключающих от сети неработающие станки, дает возможность получить снижение воздухопотребления в среднем на 30 % при коэффициенте одновременности работы станков 0,7. В результате энергопотребление уменьшается на 5 – 5,9 кВт. Суммарная экономия тепловой и электрической энергии в холодный период года достигает 148,9 – 151,3 кВт, что весьма существенно. В теплый период года экономия электрической энергии будет только благодаря работе воздухоотключающих клапанов и коллектора-сборника.

Для улучшения температурных условий и выравнивания температуры воздуха в помещении деревообработки необходимо приточный воздух подавать непосредственно в рабочую зону равномерно по всей ее площади. С учетом конкретных мест работы и характера производственных процессов предлагается распределять приточный воздух разработанными нами пристенными шкафными и приколонными воздухораспределителями, имеющими перфорированные стенки и располагаемыми непосредственно в рабочей зоне.

Результаты проведенных экспериментальных исследований работы предлагаемых воздухораспределителей показывают, что разработанные конструкции обеспечивают активное гашение скорости воздуха на расстоянии 0,5 м от стенки воздухораспределителя, а, начиная с расстояния 1 м и высоты над полом тоже 1 м, температура и скорость воздуха приобретают значения, свойственные всей рабочей зоне.

В вентиляционных сетях большая часть энергии (до 90 %) тратится на преодоление местных сопротивлений, поэтому снижение энергоемкости последних – весомый фактор в уменьшении энергопотребления самими сетями. Для снижения энергоемкости вентиляционных сетей общеобменных систем проведены эксперименты по определению коэффициентов местных сопротивлений (КМС) тройников, являющихся наиболее энергоемкими элементами сети. Были проведены опыты с целью выявления влияния на КМС диаметра врезки и диаметра ответвления круглых стандартных тройников, а также формы и размеров прямоугольного ответвления. Выяснилось, что для уменьшения КМС круглых воздухопроводов диаметр врезки должен быть ближайшим нормализованным к диаметру сборного участка. На КМС тройников прямоугольных воздухопроводов оказывают большое влияние размеры сторон и ориентация длинной оси сечения ответвления. Для уменьшения КМС необходимо при параллельности большой оси ответвления и оси сборного участка тройника стремиться к квадратной форме сечения ответвления, а при поперечном расположении осей форма сечения ответвления должна быть более вытянута.

Расчеты экономической эффективности рекомендуемых систем с применением частичной рециркуляции воздуха в сравнении с базовым вариантом показали, что экономический эффект составляет 20 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный комплекс экспериментальных и теоретических исследований по повышению экономичности и эффективности систем пневмотранспорта, по увязке работы этих систем с общеобменной вентиляцией, по применению рециркуляции воздушных выбросов позволил получить следующие научные и практические результаты:

1. Разработана и предложена к применению усовершенствованная кустовая система пневмотранспорта, обоснована целесообразность применения ее новых конструктивных элементов:

- объемного вертикального коллектора-сборника (получен патент на полезную модель РБ) для улавливания крупных частиц материала в непосредственной близости от станков, что позволяет сократить потери давления в системе и снизить затраты электроэнергии приблизительно на 30 – 40 %; получены графические зависимости, позволяющие определять размеры коллектора-сборника при различных расходах воздуха и концентрациях отходов [2, 3, 6, 8, 15];

- вентиляционного клапана с поворотной створкой, позволяющего уменьшить расход воздуха на 30 – 40 %, что влечет за собой снижение потребления электроэнергии на 25 – 35 %; разработаны теоретические основы расчета и получены зависимости для определения необходимого усилия соленоида клапана для открытия и закрытия его створки [2, 3, 8];

- стабилизатора скорости, способного регулировать входную скорость воздуха в циклон; получены графики для определения силы воздействия воздуха на створку стабилизатора и величины необходимого ее отклонения в зависимости от измененного по сравнению с расчетным расхода воздуха при отключении неработающих станков [2, 3, 8].

2. Получены зависимости для расчета расхода приточного воздуха общеобменных систем вентиляции с использованием рециркуляции, применение которой ведет к уменьшению количества наружного воздуха при соблюдении санитарных норм, что снижает затраты тепловой и электрической энергии приблизительно на 70 % [7].

3. Разработаны и исследованы новые конструкции перфорированных пристенных шкафных и приколонных воздухораспределителей для подачи приточного воздуха непосредственно в рабочую зону с малой скоростью, исключая обдув оборудования и работающих в помещении людей [5, 9 – 11].

4. Рекомендовано применительно к условиям деревообрабатывающих цехов выбрасываемый в атмосферу системами пневмотранспорта воздух доочищать от пыли и газов до ПДК и возвращать его снова в производственное помещение, предложено несколько вариантов схем рециркуляции воздушных выбросов систем пневмотранспорта с дополнительной очисткой воздуха в очистном оборудовании [2 – 4, 7, 8, 12 – 14].

5. Проведены экспериментальные исследования по определению коэффициентов местных сопротивлений тройников воздухопроводов для снижения затрат электрической энергии при работе общеобменных систем вентиляции. Получены графики для определения энергоэффективных форм и размеров тройников для получения минимального КМС [1].

6. Установлено, что работа модернизированной кустовой системы пневмотранспорта в комплексе с общеобменной приточной вентиляцией и рециркуляцией воздуха с применением новых конструктивных элементов и решений приводит к снижению затрат электрической энергии на 30 – 40 %, а тепловой энергии – на 70 %.

7. На основе комплекса проведенных исследований и полученных результатов разработаны рекомендации и методические принципы инженерно-технологического расчета предлагаемых конструкций и систем. Рекомендации, разработки, рабочие чертежи широко предоставлялись по запросам предприятий, проектно-конструкторских организаций и научно-исследовательских учреждений, использовались в научных исследованиях и применяются в учебном процессе при изложении дисциплин инженерно-строительного профиля и охраны окружающей среды кафедры ТГСВ ПГУ (акт внедрения от 8.10.2001 г.) и кафедры промэкологии ВГТУ, г. Витебск (акт внедрения от 11.11.2002 г.). Непосредственно в практику внедрены новые конструкции вентиляционного клапана, стабилизатора скорости и объемного коллектора-сборника, схемы очистки воздуха от тонкодисперсной пыли с последующей его рециркуляцией на деревообрабатывающих предприятиях г. Новополоцка ООО «Экстра» (акт внедрения от 3.02.2000 г.) и УЖ 15/10 (акт внедрения от 12.11.1998 г.), в проектных организациях БелГПИ, г. Витебск (справка от 24.09.02 г.), проектом институте реконструкции строительства при ПГУ (акт внедрения от 3.10.2002 г.).

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Дымчук Г.К., Королева Т.И. Снижение энергоемкости сетей воздухопроводов вентиляционных систем // Экономия материальных и энергетических ресурсов в системах отопления и вентиляции. – Ростов-на-Дону: РИСИ, 1985. – С. 106 – 116.
2. Королева Т.И., Луговский С.И., Пивоварова С.И. Энергосбережение в системах пневмотранспорта деревообрабатывающих предприятий: Материалы 53-й Междун. науч.-техн. конф. – Минск: БГПА, 1999. – С. 135.
3. Королева Т.И., Луговский С.И., Пивоварова С.И. Мобильная и экологичная кустовая система пневмотранспорта // Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 183 – 193.
4. Королева Т.И., Пивоварова С.И. Двухступенчатая регенеративно-циклонная установка // Новые ресурсосберегающие технологии и улуч-

- шение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 193 – 195.
5. Королева Т.И. Рекомендуемый способ раздачи приточного воздуха // Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 195 – 200.
  6. Королева Т.И., Луговский С.И. Укрытие местных отсосов с минимальным расходом металла для борьбы с пылегазовыми вредностями // Ахова працы. – Минск. – 1999. – № 8. – С. 16 – 18.
  7. Королева Т.И., Луговский С.И. Экологически чистые и малоэнергоёмкие кустовые системы внутризаводского пневмотранспорта // Безопасность труда в промышленности. – М. – 2000. – № 2. – С. 56 – 57.
  8. Королева Т.И., Луговая С.В., Картавцева О.В. Совершенствование систем пневмотранспорта в деревообрабатывающей промышленности // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: Сб. науч. тр. ПГУ. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – С. 199 – 204.
  9. Королева Т.И., Луговая С.В., Ногин Е.И. Увязка конструктивно-планировочных решений зданий с технологическим режимом для снижения затрат энергии в системах вентиляции // Наука и мир: Тез. докл. – Брест, 1994. – С. 66.
  10. Луговский С.И., Королева Т.И., Каширина И.А. Организация общеобменной вентиляции в различных цехах // XXXII науч.-техн. конф. препод. и студ.: Тез. докл. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 125.
  11. Луговский С.И., Королева Т.И., Зайцева Л.Н. К расчету оптимального размещения воздухораспределителей общеобменной вентиляции // XXXII науч.-техн. конф. преп. и студ.: Тез. докл. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 124.
  12. Луговский С.И., Королева Т.И., Пивоварова С.И., Осипенко С.Ю. Пылеуборка в цехах с выделением пыли // XXXII науч.-техн. конф. преп. и студ.: Тез. докл. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 126.
  13. Королева Т.И., Совейко Т.Н. Борьба с шумом наружных установок пневмотранспорта // XXXII науч.-техн. конф. преп. и студ.: Тез. докл. – Витебск: ВГТУ, 1999. – С. 123.
  14. Королева Т.И., Луговская Е.С. Доувлажнение приточного воздуха в производственных помещениях // Вести ПГУ. Серия В: Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 59 – 60.
  15. Патент РБ № 365 на полезную модель, МПК В 08 В 15/00. Аспирационный вертикальный коллектор-сборник/ Королева Т.И.; Заявл. 26.12.2000; Оpubл. 30.09.2001, // Официальный бюллетень государственного патентного ведомства РБ. – № 3. – 2001.

## РЭЗІЮМЕ

Каралева Таццяна Іванаўна

УДАСКАНАЛЕННЕ СІСТЭМ ВЕНТЫЛЯЦЫІ  
ДРЭВААПРАЦОЎЧЫХ ПРАДПРЫЕМСТВ

Пнеўматранспарт, аспірацыя, калектар-зборнік, куставая сістэма, адключаючы клапан, стабілізатар скорасці, вентылятар, цыклон, паветраразмеркавальнік, рэцыркуляцыя.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца сістэмы аспірацыі, пнеўматранспарту і агульнаабменнай вентыляцыі.

Мэта работы – тэарэтычная распрацоўка і эксперыментальнае абгрунтаванне метадаў, тэхнічных сродкаў і рацыянальнай арганізацыі сістэм вентыляцыі для зніжэння іх энергаёмкасці і ўстаранення запыленасці вентыляцыйных выкідаў.

Дзеля дасягнення пастаўленай мэты распрацаваны схемы ўдасканаленых канструкцый куставых сістэм аспірацыі, прапанаваны спосабы ачысткі выцяжнага паветру ад тонкадысперснага пылу з наступнай яго рэцыркуляцыяй. Таксама выяўлены шляхі прадухілення шкодных выкідаў у атмасферу і эканоміі цеплавой і электрычнай энергіі пры рабоце сістэм аспірацыі і агульнаабменнай вентыляцыі.

Галіна прымянення – вентыляцыя дрэваапрацоўчых прадпрыемств.

## РЕЗЮМЕ

Королева Татьяна Ивановна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Пневмотранспорт, аспирация, кустовая система, коллектор-сборник, отключающий клапан, стабилизатор скорости, вентилятор, циклон, воздухо-распределитель, рециркуляция.

Объектом исследования являются системы аспирации, пневмотранспорта и общеобменной вентиляции.

Цель работы – теоретическая разработка и экспериментальное обоснование методов, технических средств и рациональной организации систем вентиляции для снижения их энергоёмкости и устранения запыленности вентиляционных выбросов.

Для достижения поставленной цели разработаны схемы усовершенствованных конструкций кустовых систем аспирации, предложены способы очистки вытяжного воздуха от тонкодисперсной пыли с последующей его рециркуляцией. А также выявлены пути предотвращения вредных выбросов в атмосферу и экономии тепловой и электрической энергии при работе систем аспирации и общеобменной вентиляции.

Область применения – вентиляция деревообрабатывающих предприятий.

**SUMMARY****Korolyova Tatyana Ivanovna****IMPROVEMENT OF MANUFACTURING  
ENTERPRISE VENTILATING SYSTEMS**

Pneumatic transport, aspiration, "bush" system, a collector, a stop valve, a speed stabilizer, a ventilator, a cyclone, an air-distributor, recirculation.

Aspiration systems, pneumatic transport and general exchangeable ventilation are the objects of this investigation.

The aim of the work is theoretical work out and experimental testing of methods and technological means, rational arrangement of ventilating systems for decreasing of their energy volume and removal of ventilating exhaust dusting.

To achieve this aim the tables of improved structures of aspiration "bush" systems have been worked out. Besides, the methods of air purification from fine dust with its recirculation followed have been proposed. The ways of preventing of harmful exhausts into the atmosphere and saving of thermal and electrical energy in the work of aspiration and ventilating systems have been found out.

The field of application is the ventilation of timber manufacturing enterprises.



Королева Татьяна Ивановна

Совершенствование систем вентиляции  
деревообрабатывающих предприятий

05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,  
кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 14.11.02

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Печать офсетная

Усл. печ. л. 1,16

Уч.-изд. л. 1,06

Тир. 100 экз.

Зак.

---

Отпечатано на ризографе ПГУ

211440 Новополоцк, ул. Блохина, 29