

Светлой памяти
В.В. Волгина, Н.И. Давыдова,
А.Т. Лебедева, В.А. Иванова,
В.Д. Миронова, В.Я. Ротача,
В.И. Скурихина, С.Г. Ушакова,
Валентины Тверской

ПРЕДИСЛОВИЕ

За истекшие два десятилетия со времени выхода первого издания книги ¹ в мире автоматизации энергетического оборудования, теории и технологии АСУТП произошли существенные изменения.

Многофункциональные АСУТП энергоблоков создаются на базе программно-технических комплексов (ПТК) сетевой иерархической структуры, выполняют системообразующие функции и переведены в разряд основного оборудования электростанции. Вычислительный ресурс ПТК позволяет реализовать в составе АСУТП задачи технологического контроля, функциональной диагностики, адаптивного управления с эталонными математическими моделями, высокоточного автоматического регулирования и управления.

Проблема структурного синтеза сложных функций АСУТП определяется физическими трудностями формирования вектора необходимой и достаточной информации о текущем состоянии технологического объекта управления (ТОУ), многие параметры которого недоступны для непосредственного контроля, искажены разного рода нелинейностями и действием случайных возмущений.

¹ **Тверской Ю.С.** Автоматизация котлов с пылесистемами прямого вдувания. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 256 с.

Задача получения необходимых сведений о состоянии объекта управления до конца прошлого века решалась на основе опыта эксплуатации и/или путем экспериментальных исследований на действующем оборудовании. В современных условиях развития электроэнергетического рынка генерации проведение экспериментальных исследований стало практически невозможным по многим объективным и субъективным причинам. С одной стороны, по причине сложности постановки экспериментальных работ в структуре современной АСУТП, а с другой – вследствие существенных рисков потери дорогостоящего оборудования при низкой квалификации оперативного персонала. Поэтому приведенные в издании 1996 г. экспериментальные результаты исследований динамических характеристик тепломеханического оборудования и статистических характеристик реальных эксплуатационных возмущений остаются уникальными. Они широко используются как для решения разного рода задач анализа и синтеза локальных систем управления тепломеханического оборудования, так и с целью верификации и оценки меры адекватности математических моделей каналов регулирования при синтезе САУ на ранних стадиях функционального проектирования, а также компьютерных моделей и тренажеров энергетических объектов.

В настоящее время, когда мировая энергетическая стратегия и энергетическая стратегия России возвращаются к пониманию необходимости существенного увеличения доли угля в структуре потребляемого на ТЭС топлива и эффективности (конкурентоспособности) его использования, выходящая в свет книга остается практически единственным изданием, в котором представлено целостное рассмотрение проблем автоматизации управления тепловой нагрузкой пылеугольных котлов тепловых электростанций.

Второе издание книги переработано и дополнено.

В первой главе дополнительно рассмотрены вопросы работы котлов с промежуточным бункером пыли и пылесистемами с шаровыми барабанными мельницами.

Вторая, третья и четвертая главы остались практически без изменений. Пятая глава написана заново и посвящена ключевым вопросам начальной стадии создания АСУТП, решение которых позволяет исключить грубые ошибки в принятии последующих концептуальных решений.

В шестой, седьмой и восьмой главах представлены результаты новых разработок по теории и практике структурного синтеза систем регулирования тепловой нагрузкой прямоточных и барабанных пылеугольных котлов. Особое внимание уделено развитию методологии построения высокоточных нелинейных динамических моделей систем пылеприготовления, обладающих аккумуляцией топлива в каналах формирования потоков топливовоздушных смесей².

В девятой главе впервые рассмотрены методологические особенности расчетов систем автоматического регулирования с оценкой их гарантированной технологической работоспособности.

Автор надеется, что книга окажется полезной для широкого круга междисциплинарных специалистов по проектированию, режимной наладке и эксплуатации многофункциональных АСУТП автоматизированного тепломеханического оборудования электростанций. Книга может быть использована в качестве учебного пособия аспирантами и студентами (инженерно-ориентированные бакалавры и магистры) технических университетов.

² В этой части работа была поддержана Грантом РФФИ (Проект № 07-08-00360 конкурса РФФИ 2007–2008 гг.).

Предисловие к первому изданию 1996 г. (сокр.)

На тепловых электрических станциях при подготовке твердого топлива к сжиганию в факельных топках паровых котлов преимущественное распространение получили индивидуальные замкнутые системы пылеприготовления, выполненные по схеме прямого вдувания.

Для котлов, оборудованных пылесистемами прямого вдувания, характерны наличие в рассредоточенном топливоподающем канале технологических (мельничных) систем измельчения, в которых формируются потоки первичной топливовоздушной смеси с заданными характеристиками, и способность аккумулировать готовое измельченное топливо. Эти особенности выделяют паровые котлы с пылесистемами прямого вдувания в класс технологических объектов управления, для которых режим работы пылесистемы полностью определяется тепловой нагрузкой котла, а остановка или изменение пылеподачи любой мельницы оказывает значительное влияние на процессы горения и тепловыделения в топке (аэродинамику, тепловую неравномерность в газовых потоках).

Опыт эксплуатации, экспериментальные исследования показали, что с ростом единичной мощности энергоблоков значительно возрастает количество перерабатываемого на ТЭС твердого топлива, соответственно растут объемы уходящих газов, золы, шлаков. С ухудшением качества топлива существенно возрастают его потоки для сжигания, что также ведет к повышенным нагрузкам топливо-приготовительного оборудования, возникновению разного рода технологических ограничений. При этом возникает комплекс проблем структурного синтеза систем автоматического управления. Эти проблемы связаны с согласованием подачи сырого топлива и воздуха при

изменении тепловой нагрузки котла, производительности мельниц и состава группы топливоприготовительного оборудования, с поддержанием безавального режима работы мельниц и с обеспечением оптимального соотношения «топливо — воздух» в рассредоточенных топливовоздушных потоках первичной аэросмеси, со стабилизацией аэродинамической структуры факела в топке котла.

Достижение эффективной эксплуатации пылеугольных котлов ТЭС возможно только путем совместного решения комплекса задач создания автоматизированного объекта. Проектирующие организации традиционно разрабатывают проект энергоблока и его АСУТП до самого нижнего уровня детализации (датчика, исполнительного механизма) для всех его основных функциональных подсистем. При этом сложность объекта проектирования не позволяет учесть всю совокупность технологических факторов, что, в свою очередь, приводит к необходимости доработки проектов по ходу их реализации.

Целостное рассмотрение проблем автоматизации паровых котлов с пылесистемами прямого вдувания в отечественной литературе и в зарубежных публикациях отсутствует. Последняя книга, в которой излагались эти вопросы, вышла в середине 1960-х гг. под редакцией В.Д. Пивня [3]. В книге Г.П. Плетнева [63], вышедшей в начале 1980-х гг., вопросы автоматизации котлов с пылесистемами прямого вдувания изложены лишь фрагментарно. В настоящей книге автором предпринята попытка целостного рассмотрения проблемы автоматизации котлов с пылесистемами прямого вдувания как особого класса сложных технологических объектов управления.

Справедливость принципиальных решений, изложенных в книге, подтверждается опытом эксплуатации новых систем управления пылеугольных котлов с пылесистемами прямого

вдувания, а также тенденцией применения в схемах прямого вдувания шаровых барабанных мельниц под давлением.

При написании книги использованы в основном результаты собственных исследований автора и его учеников. Исследования проведены, особенно в их экспериментальной части, при неоценимой помощи эксплуатационного персонала электростанций и наладочных организаций, конструкторского бюро Сызранского завода тяжелого машиностроения, а также сотрудников Ивановского государственного энергетического университета.

Автор выражает благодарность рецензентам доктору технических наук С.А. Таламанову и заведующему кафедрой систем управления ИГЭУ, кандидату технических наук, доценту А.В. Голубеву, замечания которых способствовали улучшению рукописи, а также инженерам кафедры систем управления И.В. Алениной, О.В. Злыдарь, магистру М.А. Иванковой и кандидату технических наук И.К. Муравьеву за неоценимую помощь в подготовке второго издания книги к печати.

Все замечания и пожелания просим направлять на E-mail: tverskoy@su.ispu.ru, y.tverskoy@me.com, tverskkoj@mail.ru, kafsu@su.ispu.ru.

Ю.С. Тверской

Г Л А В А I

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

1.1. Принципиальные схемы воздушно-газовых трактов котлов с пылесистемами прямого вдувания

Различие энергетических углей в отношении реакционной способности, зольности, абразивности, влажности приводит к необходимости применения различных технологических схем пылесистем прямого вдувания и способов сушки топлива [34, 45, 46, 67].

Выбор типа мельницы определяется в основном физическими свойствами топлива. При подготовке к сжиганию низкосортных влажных топлив (бурые угли, лигниты и др.) рекомендуется использовать мельницы-вентиляторы (М-В). Подавляющее большинство зарубежных ТЭС при размоле каменных углей оборудуется среднеходными мельницами (СМ) с центробежными сепараторами.

На отечественных ТЭС (табл. 1.1) почти половина сжигаемого твердого топлива с самым широким спектром характеристик измельчается в молотковых мельницах (ММ) с встроенными сепараторами (гравитационным, инерционным, центробежным). Отечественные молотковые мельницы и мельницы-вентиляторы типизированы, отличаются отработанностью конструкций и режимов эксплуатации.

Перспективно применение в автоматизированных пылесистемах прямого вдувания шаровых барабанных мельниц (ШБМ) из-за их более высокой эксплуатационной надежности и повышенных некоторых других показателей [104, 140, 144, 145, 149, 150].

Таблица 1.1. Использование мельниц для размола различных топлив [46, 89]

Топливо		Тип мельницы			
		ШБМ	ММ	СМ	М-В
Антрацит АШ		100,0	–	–	–
Уголь	тощий	97,8	1,2	1	–
	каменный	85,5	9,7	4,5	–
	экибастузский	27,3	72,7	–	–
	бурый	17,1	80,0	–	2,9
Сланцы		–	100	–	–
Торф		–	97,7	–	2,3
Итого:					
натуральное		47,9	49,9	1,2	1,0
условное		59,3	38,5	1,6	0,6

Рассмотрим технологические особенности основных вариантов принципиальных схем индивидуальных замкнутых пылесистем прямого вдувания (рис. 1.1).

Вариант 1 (рис. 1.1, а) – пылесистема прямого вдувания с молотковыми мельницами, оснащенными гравитационными (шахтными) сепараторами пыли, работает под разрежением с воздушной сушкой топлива (торф, сланцы, бурые угли).

Вариант 2 (рис. 1.1, б) – пылесистема прямого вдувания с молотковыми мельницами с инерционными сепараторами пыли, работает под давлением, создаваемым общим дутьевым вентилятором (ДВ), с воздушной сушкой топлива (бурые угли, сланцы).

Вариант 3 (рис. 1.1, в) – пылесистема прямого вдувания с молотковыми (среднеходными) мельницами с центробежными сепараторами пыли, работает под давлением, создаваемым установленным непосредственно перед мельницей индивидуальным вентилятором горячего воздуха.

Вариант 4 (рис. 1.1, г) – пылесистема с молотковыми (среднеходными) мельницами с центробежными сепараторами пыли, работает под давлением, создаваемым установленным перед воздухоподогревателем первичного воздуха вентилятором общего первичного воздуха, с воздушной сушкой топлива (каменные угли).

Вариант 5 (рис. 1.1, д) – пылесистема прямого вдувания с ШБМ с центробежными сепараторами пыли, работает под давлением, создаваемым дополнительным вентилятором первичного воздуха, с воздушной сушкой топлива или его смесью с дымовыми газами (абразивные высокозольные каменные угли с высокой сопротивляемостью размолу).

Вариант 6 (рис. 1.1, е) – пылесистема прямого вдувания с мельницами-вентиляторами с инерционными сепараторами пыли, работает под разрежением с сушкой топлива дымовыми (топочными) газами или их смесью с воздухом (влажные бурые угли, лигниты). При установке в тракте за мельницей-вентилятором мельничного вентилятора тракт до мельничного вентилятора находится под разрежением, а тракт после мельничного вентилятора – под давлением.

Вариант 7 (рис. 1.1, ж) – пылесистема прямого вдувания с мельницами-вентиляторами с инерционными сепараторами пыли и пылеконцентраторами, работает под разрежением с сушкой топлива топочными газами или их смесью с воздухом.

Газовоздушный тракт котлов с пылесистемой прямого вдувания на базе молотковых мельниц с гравитационными сепараторами пыли (шахтными мельницами, см. рис. 1.1, а) имеет незначительное аэродинамическое сопротивление, для преодоления которого оказывается достаточно полезного напора, развиваемого дутьевым вентилятором.

Пылесистема работает под разрежением или незначительным давлением, значение которого в воздуховоде перед мельницей не превышает 100–200 Па. Низкое аэродинамическое сопротивление системы пылеприготовления определяет небольшой удельный расход электроэнергии на пневмотранспорт пыли в топку котла. Отличительная особенность такой схемы – высокая чувствительность аэродинамического сопротивления к изменениям загрузки мельницы, определяемой массой топлива, циркулирующего в системе «мельница – сепаратор».

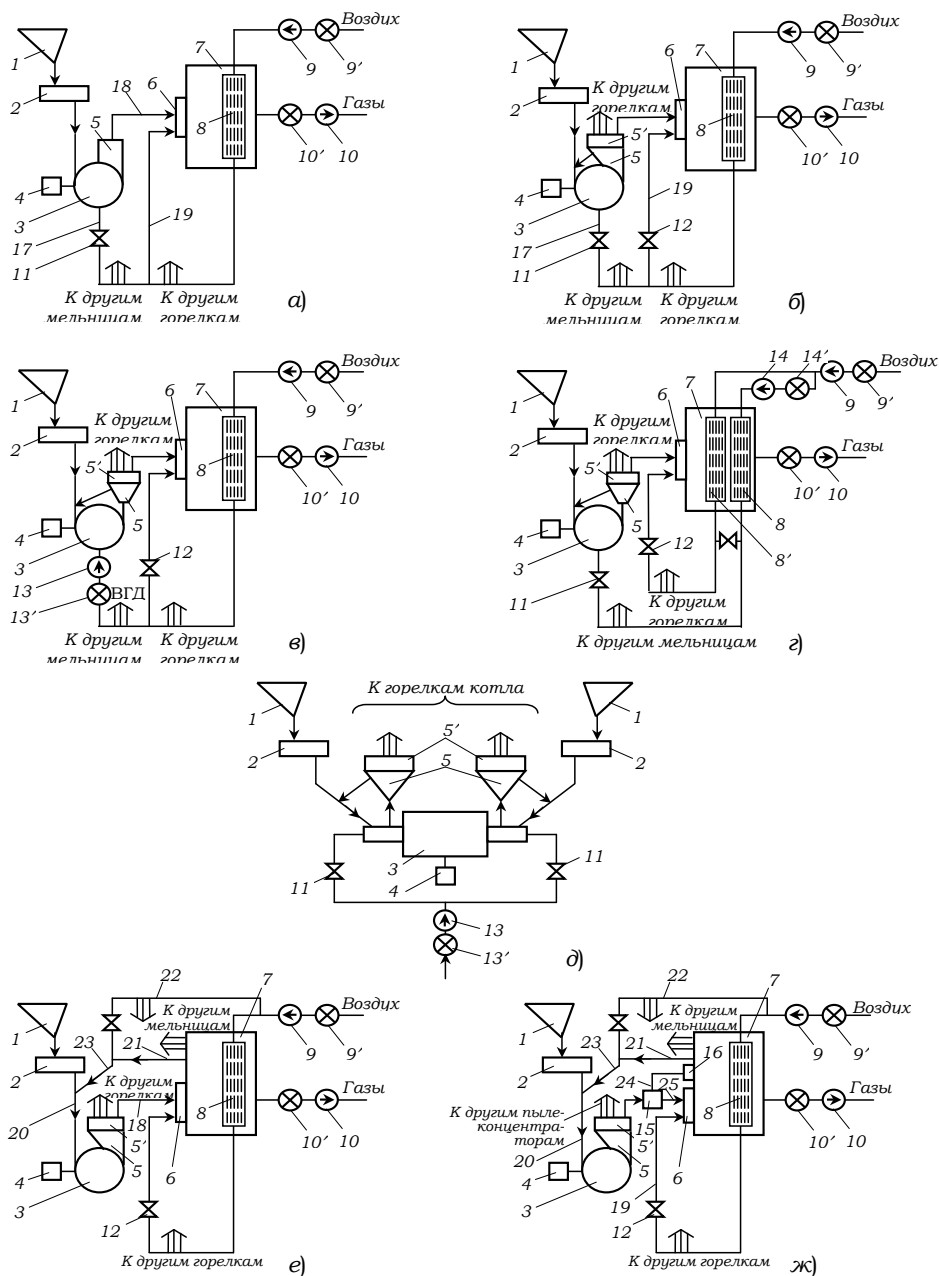


Рис. 1.1. Принципиальные схемы индивидуальных замкнутых пылесистем прямого вдувания

1.1. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ВОЗДУШНО-ГАЗОВЫХ ТРАКТОВ КОТЛОВ С ПЫЛЕСИСТЕМАМИ ПРЯМОГО ВДУВАНИЯ

а – с молотковыми мельницами с гравитационными (шахтными) сепараторами пыли: работают под разрежением, с воздушной сушкой топлива (торф, сланцы, бурые угли);

б – с молотковыми мельницами с инерционными сепараторами пыли: работают под давлением, создаваемым общим дутьевым вентилятором, с воздушной сушкой топлива (бурые угли, сланцы);

в – с молотковыми или среднеходными мельницами с центробежными сепараторами пыли: работают под давлением, создаваемым установленным непосредственно перед мельницей индивидуальным вентилятором горячего воздуха, с воздушной сушкой топлива (каменные угли);

г – с молотковыми или среднеходными мельницами с центробежными сепараторами пыли: работают под давлением, создаваемым установленным перед воздухоподогревателем первичного воздуха вентилятором общего первичного воздуха, с воздушной сушкой топлива (каменные угли);

д – с шаровыми барабанными мельницами с центробежными сепараторами пыли: работают под давлением, создаваемым дополнительным вентилятором первичного воздуха, с воздушной сушкой топлива или его смесью с дымовыми газами, с двусторонним (односторонним) подводом сырого топлива и первичного воздуха (абразивные каменные угли);

е – с мельницами-вентиляторами с инерционными сепараторами пыли: работают под разрежением – тракт до мельничного вентилятора и под давлением – тракт после мельничного вентилятора, с сушкой топлива дымовыми (топочными) газами или их смесью с воздухом (влажные бурые угли, лигниты);

ж – с мельницами-вентиляторами с инерционными сепараторами пыли и пылеконцентраторами: работают под разрежением, с сушкой топлива топочными газами или их смесью с воздухом.

Обозначено:

1 – бункер сырого угля; 2 – питатель; 3 – мельница; 4 – электропривод мельницы; 5, 5' – сепаратор с пыледелителем; 6 – горелка; 7 – топка парового котла; 8, 8' – воздухоподогреватель; 9, 9' – дутьевой вентилятор с направляющим аппаратом; 10, 10' – дымосос с направляющим аппаратом; 11 – регулирующий орган расхода первичного воздуха, поступающего в мельницу; 12 – регулирующий орган расхода вторичного воздуха, поступающего в горелку; 13, 13' – индивидуальный вентилятор первичного горячего воздуха, поступающего в мельницу, с направляющим аппаратом; 14, 14' – вентилятор общего первичного воздуха с направляющим аппаратом; 15 – пылеконцентратор; 16 – сбросная горелка; 17 – канал потока первичного воздуха к мельницам; 18 – канал потока топливовоздушной смеси к горелкам (аэросмесь); 19 – канал потока вторичного воздуха к горелкам; 20 – труба-сушилка сырого топлива, подаваемого в мельницу; 21 – канал потока топочных газов, отбираемых из топки на сушку сырого топлива; 22 – канал присадки холодного (слабоподогретого, горячего) воздуха; 23 – сушильный агент; 24 – канал отработанного (сбросного) сушильного агента; 25 – поток концентрированной аэросмеси к горелкам.

Шахтные мельницы до сих пор широко используются на прямоточных и барабанных котлах небольшой паропроизводительности (до 320 т/ч) при сжигании высокореакционных топлив (с содержанием летучих веществ более 28%), для экономичного сжигания которых требуется грубый помол (R_{90} более 40%) пыли.

Воздушно-газовые тракты котлов с пылесистемами прямого вдувания на базе современных молотковых мельниц с инерционными (для бурых углей, см. рис. 1.1, б) и центробежными (для каменных углей, см. рис. 1.1, в, г) сепараторами имеют развитую систему пылепроводов в связи с подключением к одной мельнице через делитель пылевоздушной смеси нескольких горелок. Аэродинамическое сопротивление пылесистемы составляет 3–3,5 кПа (300–350 мм вод. ст.). Для преодоления этого сопротивления устанавливаются дополнительные вентиляторы первичного воздуха, в воздуховодах горячего воздуха за воздухоподогревателем – вентиляторы горячего дутья (ВГД), в воздуховодах холодного воздуха перед воздухоподогревателем – вентиляторы общего первичного воздуха (ВПВ).

Применение в пылесистемах прямого вдувания среднеходных мельниц с центробежными сепараторами (см. рис. 1.1, в, г) является, по существу, альтернативным техническим решением для аналогичных схем с молотковыми или шаровыми барабанными мельницами. Среднеходные мельницы расходуют меньше электроэнергии на размол, но с точки зрения эксплуатационной надежности более критичны к засоренности топлива твердыми породными и металлическими включениями.

В последнее время котлостроительные фирмы начали применять в пылесистемах прямого вдувания шаровые барабанные мельницы [104, 119–123]. Например, двухсторонняя шаровая барабанная мельница (см. рис. 1.1, д) состоит из двух

симметричных контуров размола, которые могут работать независимо. В каждом контуре сырой уголь из бункера сырого угля подается сначала в смешивающий короб, где подсушивается горячим воздухом, затем вводится непосредственно в мельницу. Первичный воздух разделяется при этом на два-три потока: вентилирующий (транспортирующий, мельничный), подаваемый непосредственно в барабан мельницы, байпасный – вводится в канал мельничного продукта (на вход сепаратора), и сепараторный (специальный), вводимый в зону поддува сепаратора. Система «мельница – сепаратор» находится под давлением, что определяет высокий уровень требований к конструктивному совершенствованию уплотнений барабана мельницы. Размол угля осуществляется путем трения и раздавливания металлическими шарами при вращении шароугольной массы. Корпус шаровых барабанных мельниц вращается от электропривода, который может иметь несколько скоростей. Замена среднеходных и молотковых мельниц на шаровые барабанные мельницы позволяет существенно увеличить эксплуатационную надежность пылесистемы, снизить затраты на ремонт. Однако решающим в идее использования шаровых барабанных мельниц в схеме прямого вдувания стал, как будет обосновано ниже, фактор апробации нового принципа управления, разработанного для рассматриваемого класса технологических объектов управления (ТОУ) [11, 101].

Интенсивное использование низкосортных влажных топлив (бурых углей КАТЭК, лигнитов) с высокими значениями выхода летучих, $V_f > 40\%$, допускающих относительно грубый помол пыли $R_{90} = 40\text{--}50\%$, в котлах мощных энергоблоков (300–800 МВт) вызвало повышенный интерес к пылесистемам с мельницами-вентиляторами. Этими пылесистемами оборудованы в основном котлы ТЭС Сибири и Дальнего Востока.

Мельницы-вентиляторы широко распространены за рубежом (Болгария, Германия, в странах Средней Азии и бывшей Югославии).

Газовоздушный тракт котлов с пылесистемами на базе мельниц-вентиляторов, использующих в качестве агента сушки высокотемпературные продукты сгорания, имеет дополнительные каналы холодного (слабоподогретого) и высокотемпературного сушильного агента (см. рис. 1.1, е), отработанного сбросного сушильного агента и концентрированной аэросмеси (см. рис. 1.1, ж). При этом имеет место совмещение процессов размола и сушки с транспортом пылегазовоздушной смеси в одном агрегате. Однако большая доля отбора продуктов сгорания на сушку ведет к балластировке зоны горения инертными продуктами сгорания и водяными парами, которые могут снизить устойчивость процесса воспламенения и горения.

Установка для ликвидации этого недостатка пылеконцентраторов, позволяющих подать примерно 30% сушильного агента с 85–90% угольной пыли в основную горелку, а остальные 70% сушильного агента с 10–15% более тонкой угольной пыли через сбросные горелки в топку, ведет к появлению особо опасных возмущений. Лучшими показателями среди пылесистем с пылеконцентратором будет обладать, по-видимому, схема пылесистемы [49], в которой примерно 80% сушильного агента поступает вместе с пылью в горелки, 20% глубоко обеспыленных продуктов сушки и водяных паров подается на всас мельницы с соответствующей термической обработкой. Идея термической обработки отработанного сушильно-вентилирующего агента [6, 12] получает, как видим, практическое использование в различных схемах подготовки топлив.

Рассматривая в целом использование в пылесистемах различного типа мельниц и анализируя деятельность ведущих зарубежных фирм, можно сделать вывод, что предпочтение то-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru