

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Докт. техн. наук, проф. ДЯЧЕК П. И.

Белорусский национальный технический университет

За последние годы произошли значительные изменения в оснащении технологическим оборудованием деревообрабатывающих предприятий. Объемный и требовательный спрос на стремительно развивающемся потребительском рынке привел к модернизации деревообрабатывающей промышленности. В настоящее время при наличии финансовых ресурсов можно приобрести строгальные станки с подачей 250–300 м в минуту, а производители оборудования уже готовят к производству комплексы с подачей древесины до 900 м в минуту. Существуют предприятия с практически полной робототизацией и автоматизацией технологического процесса обработки древесины с годовой программой на уровне 1000000 м³.

Высокая производительность оборудования, универсальность обрабатываемых узлов и т. п. предъявляют и высокие требования к аспирации отходов деревообработки. Приводимые в отечественной справочной литературе данные не могут служить основанием для разработки современных систем аспирации. Скорость воздуха в приемниках на уровне 17–18 м/с не обеспечивает полного удаления отходов (стружки, опилок, древесной муки или пыли), что влечет за собой снижение чистоты и других показателей качества обрабатываемой поверхности и понижение сортности изделий. Обрабатываемые узлы в отдельных случаях состоят из набора фрез, что приводит к увеличению размеров приемников. Увеличение размеров приемников, высокие скорости обработки древесины привели к повышению скорости и расхода аспирационного воздуха. В настоящее время диапазон изменения скорости воздуха в приемниках составляет 25–40 м/с, его расход на один станок иногда достигает 25000 м³/ч.

Следует отметить и изменения в аэродинамических параметрах приемников. Если в «тихоходных станках» коэффициент местного сопротивления приемника не превышал значения $\zeta \leq 1,2$, то для современных комплексов в одном из измерений на приемнике от нижнего строгального узла станка фирмы «Тайхей» (Япония) автором в рабочем режиме зафиксировано значение коэффициента местного сопротивления, равное 4,4. Превышают справочные данные и значения ζ для других станков и обрабатываемых узлов. Некоторые приемники шлифовальных станков имеют аэродинамические потери свыше 3000 Па. Учет реального сопротивления приемников аспирационного воздуха позволяет получить эффективные в эксплуатации системы аспирации. Применение данных из устаревшей справочной литературы может привести к существенным ошибкам.

Приведенные факты свидетельствуют о необходимости тщательного и обоснованного подхода к решению вопросов аспирации деревообрабатывающего оборудования и организации вентиляции деревообрабатывающих предприятий в целом.

При очистке аспирационного воздуха с помощью циклонов ввиду низкой степени улавливания ими мелкодисперсных отходов аспирационный воздух полностью рассеивается в атмосфере. Не касаясь экологических факторов, оценим затраты на потери рассеиваемой в атмосфере теплоты. Количество рассеиваемой теплоты составляет

$$Q = Lc\rho\tau_{\text{см}}\tau_{\text{оп}}(t_{\text{вн}} - t_{\text{оп}}) \cdot 5/7. \quad (1)$$

Здесь L – производительность системы аспирации, м³/ч; c – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К); ρ – объемная масса воздуха, кг/м³; $\tau_{\text{см}}$ – продолжительность эксплуатации системы в течение суток, ч; $\tau_{\text{оп}}$ – то же отопительного периода, сут.; $t_{\text{вн}}$ – температура внутреннего воздуха в обслуживаемом системой аспирации помещении, °С; $t_{\text{оп}}$ – средняя температура отопительного периода, °С.

Введение в (1) множителя 5/7 предназначено для учета числа рабочих дней при общей продолжительности рабочей недели.

Для расчетных параметров отопительного периода г. Минска и $t_{\text{вн}} = +18$ °С при односменной работе за отопительный сезон каждые 3600 м³/ч (1 м³/с) производительности системы аспирации при очистке воздуха в циклонах рассеивают в атмосфере ≈23 Гкал теплоты. Для восполнения этих потерь требуется сжечь (теплотворная способность древесины принята 3000 ккал/кг) 7700 кг древесных отходов при КПД системы теплоснабжения, равном 100 %.

Приведенные материалы показывают высокий уровень затратности систем аспирации, связанный с потерями теплоты при очистке воздуха в циклонах.

Высокий уровень затратности объясняется и невнимательным отношением производителей к конструированию приемников аспирационного воздуха, приводящим к большим сопротивлениям данных узлов. Так, производитель одного из шлифовальных станков требует, чтобы в отводящем патрубке узла чистящего и шлифовального роликов обеспечивалась скорость 28 м/с ($d = 160$ мм). Заявленное сопротивление этих узлов, по данным производителя, составляет 3100 Па. При ресурсе рабочих дней в году 250 и односменной работе на преодоление сопротивления данных узлов будет израсходовано почти 12500 кВт·ч электроэнергии (КПД вентилятора принят 0,56). Следует отметить, что сопротивление в 3100 Па практически соответствует ресурсу пылевого вентилятора.

Обследование этих узлов и некоторые аэродинамические измерения показали, что производитель применил неэффективную конструкцию приемника и задачу вполне можно решать, обеспечив в приемнике скорость воздуха, равную 13 м/с, что приведет к снижению потребления электроэнергии при аспирации данных узлов более чем в четыре раза.

С участием автора разработаны и уже достаточно продолжительный период применяются замкнутые контуры циркуляции воздуха в системах аспирации (рис. 1). Такой подход позволяет полностью вернуть очищенный воздух в производственные помещения и исключить выбросы в атмосферу от систем аспирации.

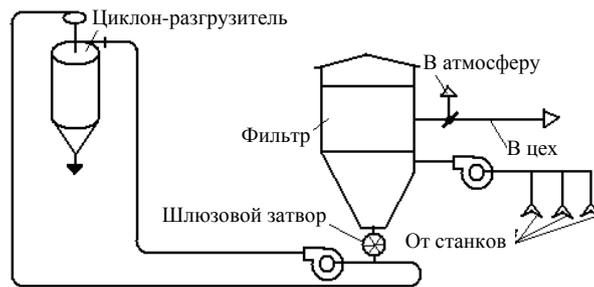


Рис. 1. Схема организации замкнутых контуров при аспирации деревообрабатывающих производств

Аспирационный воздух очищается в специальном фильтре, установленном вне производственных помещений, и возвращается в цех. Измерения показали, что в условиях климата Беларуси за счет теплопередачи к наружному воздуху в зимний период снижение температуры возвращаемого в цех воздуха находится в пределах $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В теплый период года очищенный воздух полностью или частично может рассеиваться в атмосфере. Концентрация пыли в очищенном воздухе ниже предельно допустимой. Через шлюзовой затвор собранные отходы пересыпаются в отдельную систему и транспортируются в место сбора или утилизации. При необходимом обосновании контур этой системы может быть замкнутым, и в этом случае исключаются выбросы отходов деревообработки в атмосферу.

Возврат очищенного воздуха в рабочую зону приводит к сокращению и производительности приточных установок. Затраты на приобретение оснащенных средствами автоматизации приточных установок составляют 1000–2500 руб. на каждый $1\text{ м}^3/\text{ч}$ производительности установки. Таким образом, возврат в цех, например, $3600\text{ м}^3/\text{ч}$ очищенного аспирационного воздуха снижает инвестиции в систему вентиляции деревообрабатывающих цехов минимум на 3,6 млн руб.

В Республике Беларусь длительное время выпускаются фильтры условно малой ($2\text{--}4\text{ тыс. м}^3/\text{ч}$), средней ($6\text{--}8\text{ тыс. м}^3/\text{ч}$) и большой производительности, предназначенные для очистки аспирационного воздуха, которые позволяют вернуть очищенный воздух в производственные помещения с соблюдением санитарно-гигиенических норм. Фильтры большой модификации имеют модульную конструкцию. Один модуль рассчитан на очистку до $15\text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ аспирационного воздуха. Использование требуемого числа заблокированных модулей позволяет получить установку с нужной производительностью. Фильтры разработаны в БНТУ совместно с ЗАО «Беллестехмонтаж» (первая серия фильтров средней и большой модификации совместно и с ПКТБМ «Минскпроектмебель»). Техническая характеристика фильтров последней серии представлена в табл. 1.

Применение фильтров вместо циклонов в зависимости от насыщенности технологическим оборудованием позволяет на деревообрабатывающих предприятиях в 2–5 раз снизить расход теплоты на отопление, на 30–50 % – расход электроэнергии на привод вентиляторов. Последнее возможно при комплексном подходе в применении фильтров различной производительности, высокой эффективности входящих в состав фильтров

выпускаемых в Республики Беларусь малых пылевых вентиляторов (ВРП № 2,5–4,0) с малым аэродинамическим сопротивлением самих фильтров. Сравнительная характеристика вентиляторов ВРП с наиболее употребляемыми в практике вентиляторами ВР-100-45 приведена в табл. 2.

Таблица 1

Наименование показателя	Ед. изм.	Фильтр				
		ФКДМ-2-2,5	ФРДМ-4-3,15	ФРДС-8-4	ФРДСр-8-4	ФРДБ-15*
Максимальная (в опт. режиме) производительность по воздуху	тыс. м ³ /ч	2	4	8	8	15
Разрежение во всасывающем патрубке	Па	1200–950	1700–1600	3000–2400	3000–2400	–
Масса	кг	115	170	550	378	1300
Габариты: длина ширина высота	м	1100 700 2700	1300 960 2850	1710 1450 3200	2510 1890 3960	1705 2400 6360
Номер установленного вентилятора		2,5	3,15	4,0	4,0	–
Мощность привода	кВт	1,5	4,0	7,5; 11	7,5; 11	–
Число оборотов электродвигателя (синхронное)	об/м	3000	3000	3000	3000	–
Мощность привода механизма регенерации	кВт	–	–	До 1,5	–	До 1,5
Емкость накопителя пыли (отходов)	м ³	0,23	0,39	–	~1,0	–
Площадь рабочей поверхности фильтрующих элементов	м ²	3,3	5,9	34	32	75
Диаметр/количество рукавов в фильтрующем элементе	мм/шт	630/1	220/7	200/30	220/16 370/2	200/45
Уровень шума	дБа	74	78	80	80	–

* – Параметры одной секции.

Таблица 2

Параметр	ВР-100-45-8 $n = 1615$ об/м		ВРП-4 $n_c = 3000$ об/м	
	30 кВт	22 кВт	11 кВт	7,5 кВт
Максимальная производительность при установленной мощности, тыс. м ³ /ч (числитель); давление, Па (знаменатель)	$\frac{21,5}{2400}$	$\frac{14}{2900}$	$\frac{8}{2600}$	$\frac{6}{2900}$
Отношение установленной мощности к производительности вентилятора, кВт/1000 м ³ /ч	1,4	1,57	1,22	1,25

Расчеты показывают, что стоимость потребляемой в течение года при односменной работе вентилятором ВР-100-45-8 электрической энергии примерно в два раза выше его цены у производителя. В этих условиях выбор вентилятора прежде всего должен основываться по затратам на оплату потребляемой приводом электроэнергии.

Потребляемая приводом вентиляторов электроэнергия (кВт·ч) рассчитывается по формуле $N = \tau p L / 1000 \eta$. Здесь τ – время эксплуатации вентилятора, ч; p – развиваемое вентилятором давление, Па; L – производительность, м³/с; η – коэффициент полезного действия. Следует учитывать также, что в условиях зависимости КПД от производительности ГОСТ 10616 ограничивает изменение КПД рамками $\eta_d \geq \eta_{\max}$. Чем больше КПД, тем экономичнее вентиляторная установка и система аспирации в целом.

Особого внимания при проектировании систем аспирации заслуживают отделения шлифовки изделий. Как правило, по степени опасности их относят к категории «Б». Между тем, например, станки типа ШЛПС-5П при производительности аспирационных приемников в 3000 м³/ч имеют максимально возможный мгновенный выход пыли 3,38 кг/ч [1]. Максимально возможная концентрация пыли в аспирационном воздухе в данном случае не будет превышать 1,13 г/м³. Нижний концентрационный предел распространения пламени в зависимости от вида обрабатываемой древесины и дисперсности пыли составляет $\mu_{\text{нкрп}} = 12,6\text{--}62$ г/м³ [1]. При существенно меньшей по сравнению с $\mu_{\text{нкрп}}$ реальной концентрации пыли в аспирационном воздухе в случае принадлежности шлифовального отделения к категории «Б» рециркуляция нормами запрещается. Этот воздух рассеивается в атмосфере с вытекающими отсюда потерями теплоты.

При столь низкой концентрации пыли в приемниках нельзя считать оправданным рассеивание такого воздуха в атмосфере со следующей потерей дорогостоящей теплоты. Без нарушения требований безопасности в этом

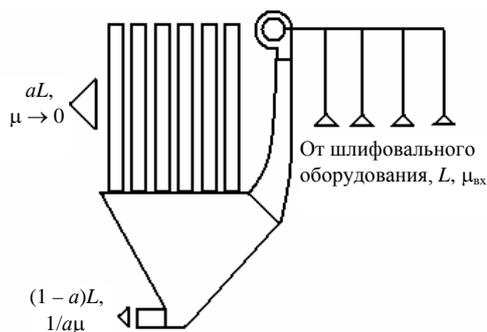


Рис. 2. Схема распределения потоков в фильтре-концентраторе

случае следует считать оправданным применение технических решений, позволяющих до безопасного предела повысить концентрацию пыли в аспирационном воздухе. Для этой цели можно применить фильтры-концентраторы ФРДС-8-4 (рис. 2). Аспирационный воздух в объеме L , м³/ч, с концентрацией пыли μ , кг/м³, с помощью встроенного вентилятора ВРП-4 подается в

фильтр, где часть воздуха в объеме aL с концентрацией пыли $\mu < \mu_{\text{пдк}}$ выводится в окружающую среду. Другая часть воздуха в объеме $(1 - a)L$ может транспортироваться далее в место сбора отходов. Концентрация пыли в этом потоке повышается в $1/a$ раз.

Применение фильтров-концентраторов позволяет снизить потери теплоты с уходящим воздухом, определяемые объемом воздуха aL , и уменьшить затраты на устройство приточной вентиляции, тоже определяемые величиной aL .

Существенную экономию потребляемых энергоресурсов можно получить при децентрализации систем аспирации и применении местных фильтров (например, ФКДМ-2-2,5; ФРДМ-4-3,15; ФРДСр-8-4). Местные

фильтры устанавливаются рядом с технологическим оборудованием и накапливают отходы в специальных мешках.

Особенность эксплуатации систем аспирации заключается в том, что расход воздуха в воздуховодах должен обеспечивать скорости, гарантирующие устойчивый транспорт отходов. При эксплуатации только части станков, обслуживаемых системой, через неработающие станки должен осуществляться в обязательном порядке пропуск воздуха. Таким образом, если какой-то станок применяется только малую часть рабочего времени, пропуск через него воздуха в центральной системе аспирации должен быть обязательным. Наличие местных фильтров позволяет обслуживать их собственными установками. Снижение потерь энергии в этом случае можно оценить по формуле

$$N_m = (\tau_{\text{общ}} - \tau_m) p_m L_m / 1000 \eta. \quad (2)$$

Здесь N_m – величина снижения потребления электроэнергии за счет применения местной аспирационной системы, кВт·ч; $\tau_{\text{общ}}$ – общее время эксплуатации оборудования, ч; τ_m – время эксплуатации местной системы, ч; p_m – давление вентилятора, необходимое для преодоления сопротивления местной аспирационной системы, Па; L_m – производительность местной аспирационной системы, м³/с.

Децентрализация позволяет также выделить группы технологически и хронологически связанных станков и объединить их для обслуживания отдельных аспирационных установок. Как правило, такие группы состоят из небольшого количества станков. Применение малых аспирационных систем ведет к снижению потерь энергии и за счет применения в этом случае более эффективных вентиляторов и использования таких систем с пропуском воздуха только через приемники работающих станков.

При выборе конфигурации систем аспирации следует учитывать расстояние между производственным помещением, где «производятся отходы», и местом их складирования или утилизации. Если место складирования и производственное помещение находятся на малом расстоянии друг от друга, то следует применять фильтры с бункером-наполнителем. При транспортировке на значительные расстояния перемещение отходов следует осуществлять с помощью отдельной системы (рис. 1). Опыт реализации некоторых систем показал, что устойчивый транспорт отходов обработки высушенной древесины можно осуществлять с концентрацией до 2 кг/м³ (концентрация отходов во внутрицеховых системах ≈ 20 г/м³). Пересыпка отходов из фильтра через шлюзовой затвор в отдельную систему позволяет существенно сократить объем транспортируемого воздуха, а следовательно, и энергетические затраты на перемещение отходов к месту складирования или утилизации.

ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ влияния различных факторов на эффективность и энергоемкость систем аспирации деревообрабатывающих предприятий.

2. Предложены пути совершенствования систем аспирации и снижения энергетических затрат при их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, А. Н. Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях / А. Н. Александров, Г. Ф. Козориоз. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 248 с.

Представлена кафедрой
теплогазоснабжения и вентиляции

Поступила 4.04.2008

УДК 681.575

МОМЕНТНЫЙ КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАМКНУТОЙ ЛИНЕЙНОЙ АСР

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И.

Белорусский национальный технический университет

Для анализа линейных автоматических систем регулирования (АСР), все параметры которых известны, используют различные критерии устойчивости, определяющие условия, необходимые и достаточные для того, чтобы корни характеристического уравнения имели отрицательную вещественную часть. К таким критериям относятся критерии Раутса, Гурвица, Михайлова и т. д. Каждый из разработанных критериев имеет свою область использования и соответственно какие-то ограничения по применению. Цель данного исследования – разработка универсального критерия, позволяющего без громоздких расчетов оценить устойчивость линейной АСР.

Пусть передаточная функция линейной замкнутой АСР представлена в виде

$$W(p) = \frac{\sum_{i=1}^m b_i p^i + b_0}{\sum_{j=1}^n a_j p^j + a_0} = \frac{\varepsilon(p)}{g(p)}, \quad (1)$$

где $\varepsilon(p)$ – изображение ошибки регулирования; $g(p)$ – то же задающего воздействия.

Представим оригинал ошибки регулирования $\varepsilon(p)$ в виде обобщенного ряда Фурье [1]

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=1}^k C_i \varphi_i(t), \quad (2)$$

где $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t)$ – система ортонормированных функций, для которых справедливо равенство

$$\int_0^{\infty} \varphi_i(t) \varphi_j(t) dt = \delta_{ij}.$$