

УДК 697941

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ
РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ АСПИРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ****канд. техн. наук, доц. Т.И. КОРОЛЕВА, О.М. КАЧАН, И.В. ШЕРЕМЕТЬЕВ
(Полоцкий государственный университет)**

Представлены наиболее распространенные, традиционные и современные системы аспирации древесных отходов. Для каждой из описанных систем указаны особенности применения, их преимущества и недостатки. Предложены мероприятия для усовершенствования технологии аспирационных систем с целью снижения их энергоемкости. Исследовано несколько основных вариантов аспирационных систем, для которых выполнено технико-экономическое сравнение по расходу тепловой и электрической энергии, капиталовложениям и годовым эксплуатационным затратам. Определен экономически выгодный вариант по минимуму приведенных затрат. Приведен сравнительный анализ различных схем систем аспирации с рекуперацией воздуха по наиболее значимым критериям. Даны рекомендации по выбору систем аспирации с учетом технико-экономических и технологических требований.

Введение. При обработке древесины на деревообрабатывающих станках образуется большое количество древесных сыпучих отходов (стружка, опилки, древесная пыль). Удаление сыпучих отходов от станков и перемещение их к месту утилизации производится цеховыми пневмотранспортными установками (системами аспирации). Эти установки выполняют важную санитарно-гигиеническую функцию – обеспыливание рабочей зоны. Это одно из основных мероприятий по охране труда и окружающей среды. Установка состоит из разветвленной сети материалопроводов с приемниками-пылеуловителями у каждого из станков, пылевого вентилятора и пылеочистного устройства с бункером-накопителем отходов. В качестве очистных устройств традиционно применяли устройства инерционного типа – циклоны, которые имеют ряд существенных недостатков. Циклон очищает воздух от крупной и среднedisперсной пыли, а мелкодисперсная пыль выбрасывается в атмосферу, что приводит к загрязнению окружающей среды в районе расположения предприятия. Вместе с удаляемым воздухом в холодное время года в атмосферу выбрасывается значительное количество теплоты. Эффективность работы системы аспирации обеспечивается обычно при 8...12-кратном обмене воздуха в течение часа в помещении цеха. Компенсация тепловых потерь осуществляется в приточных системах вентиляции с калориферами и требует больших энергетических и материальных затрат.

Наиболее актуальным направлением технической политики на деревообрабатывающих предприятиях является комплексное уменьшение энергозатрат и пылевых выбросов в атмосферу в системах аспирации, пылеулавливания и общеобменной вентиляции, которые приходится оплачивать по всё возрастающим ценам, а также сокращение инвестиций в эти системы при реконструкции и новом проектировании. Избежать таких затрат можно применяя вместо циклонов пылеочистные устройства контактного типа – фильтры, имеющие высокую степень очистки воздуха от пыли, что позволяет системе работать в режиме рециркуляции воздуха [1]. Таким образом, практически исключается выброс древесной пыли в атмосферу и до минимума снижаются теплопотери.

Основная часть. Анализ различных схем систем аспирации, эксплуатируемых на деревообрабатывающих предприятиях, позволил вскрыть значительные резервы, которые могут привести к уменьшению энергозатрат и пылевых выбросов в названных системах. Ожидаемый эффект обеспечивается в случае замены применяемых энергоемких систем на энергосберегающие и экологически безопасные. Кроме того, многократное уменьшение количества выбрасываемой в атмосферу древесной пыли пропорционально снижает степень ее опасного влияния на атмосферный воздух.

Характерным для аспирационных систем является то, что они служат не только для перемещения материалов, но и выполняют функцию вытяжных систем вентиляции. При этом происходят значительные потери давления в системе, что приводит к увеличению энергетических затрат.

Для компенсации воздушных выбросов систем аспирации приходится в холодный период года подогревать и подавать приточными системами значительные объемы наружного воздуха, затрачивая дополнительную тепловую и электрическую энергию.

Учитывая перечисленные особенности аспирационных систем, предлагается для уменьшения их энергоемкости усовершенствовать технологию этих систем, внося следующие изменения:

- существенно *уменьшить протяженность транспортирования материала*, для чего в кустовой системе аспирации необходимо в центре расположения станков установить вместо аспирационного коллектора объемный вертикальный коллектор-сборник [2], в котором осаждаются крупные частицы транс-

портируемого материала; после коллектора-сборника установить циклон, в который поступает на очистку только пыль средней и малой дисперсности (рис. 1);

- использовать рециркуляцию воздуха систем аспирации после дополнительной очистки его в рамочном фильтре и в фильтре приточной камеры (рис. 1);

- использовать вместо установки циклона и рамочного фильтра *рукавный фильтр*, установленный за пределами здания (рис. 2).

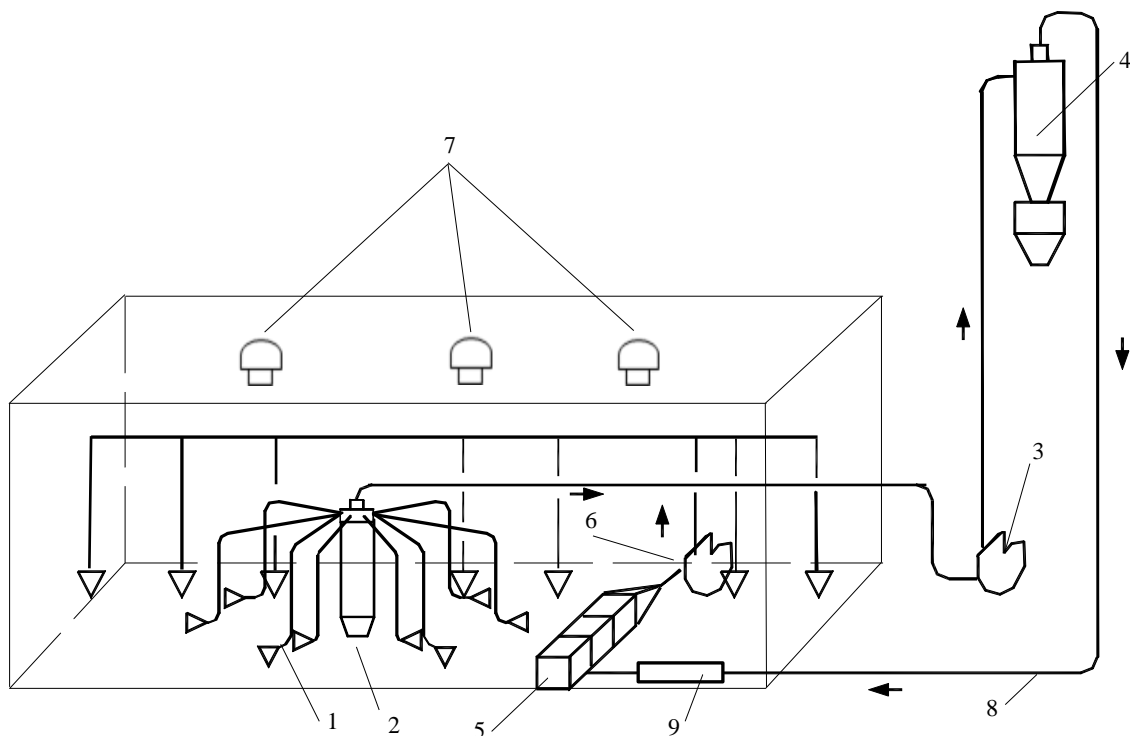


Рис. 1. Система аспирации с рециркуляцией воздуха, коллектором-сборником, циклоном и матерчатый фильтром:
1 – отведения от станков; 2 – вертикальный коллектор-сборник; 3 – пылевой вентилятор системы аспирации;
4 – циклон; 5 – приточная камера; 6 – вентилятор общеобменной приточной вентиляции;
7 – крышные вентиляторы; 8 – воздуховод рециркуляции воздуха; 9 – матерчатый фильтр

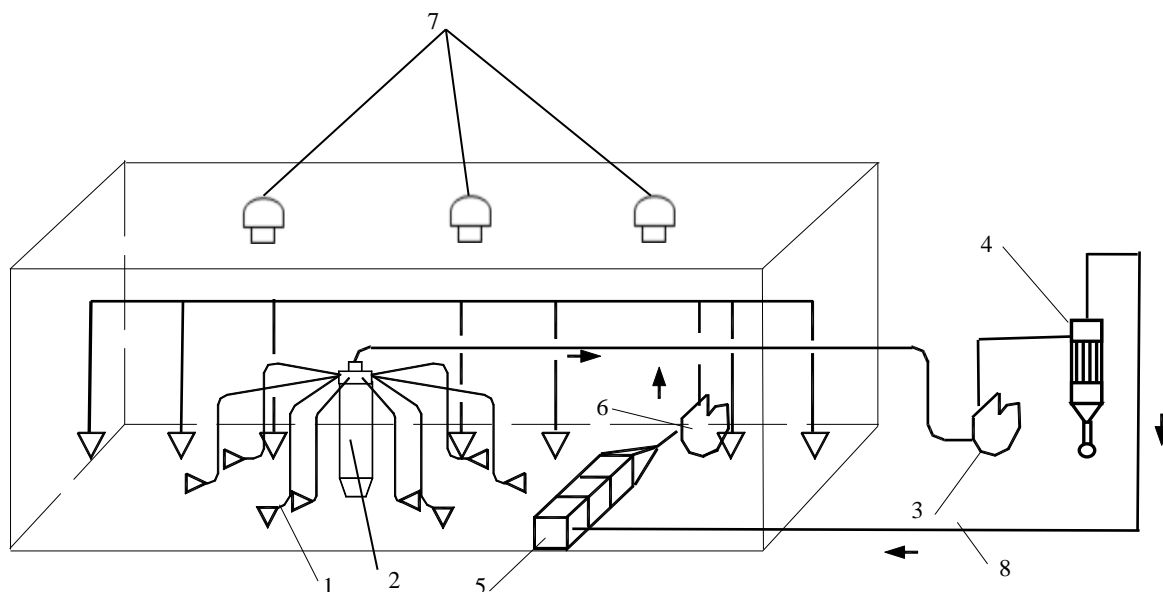


Рис. 2. Система аспирации с рециркуляцией воздуха и рукавным фильтром:
1 – отведения от станков; 2 – вертикальный коллектор-сборник; 3 – пылевой вентилятор системы аспирации;
4 – рукавный фильтр; 5 – приточная камера; 6 – вентилятор общеобменной приточной вентиляции;
7 – крышные вентиляторы; 8 – воздуховод рециркуляции воздуха

Рециркуляция воздуха после систем аспирации имеет большую экономическую перспективу – возможно ощутимое уменьшение расходов тепловой и электрической энергии. Это предопределяет практическую ценность предложений и решений, касающихся предлагаемой модернизации систем аспирации и высококачественной очистки воздуха от древесной пыли.

Системы аспирации исследованы по следующим основным четырем вариантам:

- 1) с вертикальным коллектором-сборником в качестве первой ступени очистки воздуха; циклоном в качестве второй ступени очистки и без рециркуляции воздуха;
- 2) с вертикальным коллектором-сборником в качестве первой ступени очистки воздуха; циклоном в качестве второй ступени очистки; с третьей ступенью очистки его от тонкой пыли матерчатым фильтром и доочисткой в фильтре приточной камеры, с рециркуляцией воздуха (см. рис. 1);
- 3) с аспирационным коллектором, циклоном в качестве первой ступени очистки воздуха; со второй ступенью его очистки от тонкой пыли матерчатым фильтром, доочисткой в фильтре приточной камеры, с рециркуляцией воздуха;
- 4) с вертикальным коллектором-сборником в качестве первой ступени очистки воздуха; второй ступенью очистки в рукавном фильтре и доочисткой его в фильтре приточной камеры, с рециркуляцией воздуха (см. рис. 2).

По *первому и второму вариантам* систем аспирации (см. рис. 1), ответвления от станков 1 подключаются к вертикальному коллектору-сборнику 2. Здесь под влиянием собственного веса крупные отходы в виде стружки и опилок выпадают из воздушного потока, а запыленный воздух поступает дальше по сборному материалопроводу, через пылевой вентилятор 3 в циклон 4, где воздух очищается от средних по крупности фракций пыли. В первом варианте воздух, содержащий мелкодисперсную пыль, выбрасывается в атмосферу.

Во *втором варианте* (см. рис. 1) в кустовой системе аспирации предлагается для дополнительной очистки воздуха от мелкодисперсной пыли использовать матерчатый фильтр 9 и после доочистки воздуха в фильтре приточной камеры 5 появляется возможность использовать рециркуляцию воздуха. Для обработки наружного приточного воздуха и подачи его в помещение предусмотрена приточная камера 5, вентилятор 6 и сеть воздухопроводов с воздухораспределением в рабочую зону. Общеобменная вытяжка воздуха осуществляется крышными вентиляторами 7.

В *третьем варианте* вместо вертикального коллектора-сборника используется аспирационный коллектор, в остальном схема аналогична второму варианту.

Четвертый вариант (см. рис. 2) предусматривает использование рециркуляции воздуха за счет очистки его в коллекторе-сборнике от крупных отходов, второй ступенью очистки в рукавном фильтре 4, и доочисткой его в фильтре приточной камеры 5. Особенность этого варианта – отсутствие циклона для очистки воздуха и установка для этих целей рукавного фильтра. Недостатками данной системы аспирации являются невозможность работы с влажной слипающейся пылью и дополнительные расходы электроэнергии на частую регенерацию рукавов фильтра.

Выполненный технико-экономический расчет предложенных четырех вариантов систем аспирации включал в себя:

- подбор оборудования приточной камеры, расчет количества затрачиваемой теплоты на нагрев воздуха в калориферах в холодный период года, потерь давления в оборудовании приточной камеры;
- расчет аэродинамических потерь давления аспирационных и приточных систем вентиляции;
- подбор вентиляторов и определение необходимой мощности электродвигателей вентиляторов;
- расчет капиталовложений и годовых эксплуатационных затрат по каждому варианту;
- определение экономически выгодного варианта по минимуму приведенных затрат.

Суммарная потеря давления по магистральному направлению сети с учетом транспортирования материала и потерь давления в очистных установках определялись по формулам:

$$\Delta p_c = 1,1 \cdot \left[\left(\sum_{i=1}^n (\xi_s + \sum_{j=1}^m \xi_i) \right) \cdot \left(\frac{v_s^2}{2} \cdot \rho_s + 2 \cdot \mu_p \cdot A \cdot \frac{v_s^2}{2} \cdot \rho_s \right) \cdot (1 + \kappa \cdot \mu_p) + \mu_p \cdot h \cdot \rho_s \cdot g \cdot \frac{v_{верт}}{v_m - v_s} \right] + \Delta p_{от}, \quad (1)$$

где 1,1 – коэффициент запаса; ξ_s – эквивалентное местное сопротивление на i -м участке; n – количество участков в системе аспирации; $\sum_{j=1}^m \xi_i$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на i -м участке;

m – количество местных сопротивлений на i -м участке; $A = \frac{v_m}{v_s}$ – относительная скорость движения мате-

риала; v_a – скорость движения воздуха, м/с; v_m – скорость движения частицы материала, м/с; $v_{верт}$ – скорость воздуха на вертикальных участках, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; v_s – скорость витания материала, м/с; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; μ_p – массовая концентрация пыли в смеси, мг/м³; k – опытный коэффициент, для древесных отходов внутрицеховых систем аспирации равен 1,4; h – высота подъема материала, м; $\Delta p_{от}$ – потери давления в очистных устройствах (циклонах, фильтрах).

Потеря давления в аспирационных установках значительно превышает потерю давления в системах вентиляции, что вызывается: затратами энергии на преодоление сопротивления трения: воздуха и материала о стенки воздуховода; воздуха о частицы материала; между частицами материала; повышенными затратами энергии в местных сопротивлениях, на подъем материала по вертикальным участкам и на его разгон.

В таблице приведена сводная ведомость результатов расчета вентиляционных систем.

Сводная ведомость результатов расчета вентиляционных систем

Номер варианта	Капиталовложения	Приточная система			
		Расход теплоты на нагрев воздуха, кВт	Расход воздуха, м ³ /ч	Давление вентилятора, Па	Установочная мощность вентилятора, кВт
1	2	3	4	5	6
1	28908	296,656	20592	664,15	7,5
2	37649	89,039	20592	653,04	7,5
3	37692	89,039	20592	653,04	7,5
4	44205	89,039	20592	653,04	7,5

Окончание таблицы

Номер варианта	Система аспирации			Вытяжная система	
	расход воздуха, м ³ /ч	давление вентилятора, Па	установочная мощность вентилятора, кВт	расход воздуха, м ³ /ч	установочная мощность вентилятора, кВт
1	7	8	9	10	11
1	13464	2762	18,5	7128	2,2
2	13464	3880	22,0	7128	2,2
3	13464	4418	30,0	7128	2,2
4	13464	2875	18,5	7128	2,2

Сравнивая вариант 1 с вариантом 2 можно сделать вывод об экономии тепловой энергии за счет рециркуляции воздуха в 3,3 раза.

При сравнении варианта 2 с вариантом 3 видна эффективность применения вертикального коллектора-сборника, так как установочная мощность вентилятора системы аспирации меньше, чем при установке аспирационного коллектора на 8 кВт. Преимущество второго варианта заключается также в том, что при транспортировании воздуха по материалопроводам, металл не истирается, благодаря тому что крупные отходы осаждаются в вертикальном коллекторе-сборнике и не транспортируются на большие расстояния.

Сравнивая вариант 2 с вариантом 4, в последнем установочная мощность вентилятора системы аспирации меньше на 3,5 кВт. Четвертый вариант менее затратен, но необходим учет и сравнение эксплуатационных затрат и сроков службы рукавов фильтра и циклона.

Основными критериями при технико-экономическом сравнении вариантов и выборе наиболее оптимального из последних является значение минимальных приведенных затрат.

Приведенные затраты, руб. складываются из эксплуатационных затрат и капиталовложений:

$$Z_i = C_i + E_k \cdot K_i, \quad (2)$$

где C_i – текущие (эксплуатационные) затраты, руб./год; K_i – капиталовложения, руб.; $E_k = 0,15$ – коэффициент эффективности капиталовложений.

Для определения сметной стоимости строительства использовалась программа по составлению сметной документации Sic Win 3.02. Произведен расчет локальных смет по каждому варианту.

В локальных сметах отражаются *прямые затраты* в рублях, такие как:

- заработная плата рабочих;
- эксплуатация машин и механизмов, в том числе заработная плата машинистов;
- материальные ресурсы, в том числе транспортные расходы.

Также рассчитываются:

- *накладные расходы* (административно-хозяйственные, расходы на обслуживание работников строительства, на организацию работ на стройплощадке, прочие расходы специализированных и строительно-монтажных организаций);

- *плановые накопления* (общие затраты для всех организаций, затраты, связанные с функционированием инфраструктуры организаций).

Расходы на тепловую энергию, руб./год, определялись по формуле:

$$T = Q_e^{zod} \cdot T_{map}, \quad (3)$$

где Q_e^{zod} – годовой расход теплоты на вентиляцию, Гкал/год; T_{map} – тариф на тепловую энергию, руб./Гкал [3].

Годовой расход теплоты на вентиляцию, Гкал/год, определялся как

$$Q_e^{zod} = Q_p^e \cdot \left[m \cdot n_1 + \frac{t_{вн}^H - t_{ср.ом}^H}{t_{вн}^e - t_p^e} (n_0 - n_1) \cdot m \right], \quad (5)$$

где Q_p^e – расчетный часовой расход теплоты на вентиляцию, Гкал./ч; m – число часов работы в течение суток, ч; n_1 – число дней в отопительном периоде, ч; $t_{вн}^H$ – температура внутреннего воздуха, °С; $t_{ср.ом}^H$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С; t_p^e – температура наружного воздуха для вентиляции, °С; n_0 – продолжительность работы системы вентиляции, сут.

Расходы на электроэнергию, руб./год:

$$\mathcal{E} = N_i \cdot n \cdot m \cdot z \cdot C_{эл}, \quad (6)$$

где N_i – мощность электродвигателя, кВт; n – количество двигателей; m – продолжительность смены, ч; z – количество дней работы в году; $C_{эл}$ – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч [3].

Затраты в базисных ценах на тепловую энергию, электрическую энергию и значения приведенных затрат, тыс. руб., по вариантам представлены на рисунках 3 – 5.

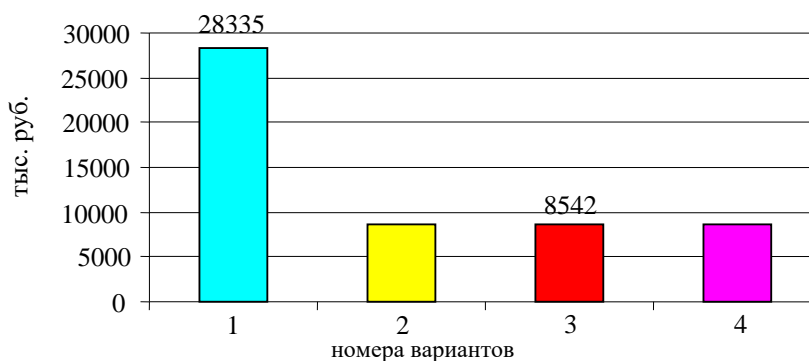


Рис. 3. Затраты на тепловую энергию

Анализируя результаты расчетов можно отметить, что наименьшими капиталовложениями обладает первый вариант, потому что в нем не учитывались затраты на рециркуляцию воздуха и стоимость фильтра (см. таблицу). Небольшая разница в капиталовложениях между вторым и третьим вариантами обусловлена тем, что при применении аспирационного коллектора (вариант 3) во избежание истирания металла используются более плотные воздухопроводы, так как крупные отходы в виде стружки, опилок не

оседают, а транспортируются на значительные расстояния. Наибольшие капиталовложения в четвертом варианте, это связано с затратами на рукавный фильтр, превышающими суммарные затраты на циклон и матерчатый фильтр.

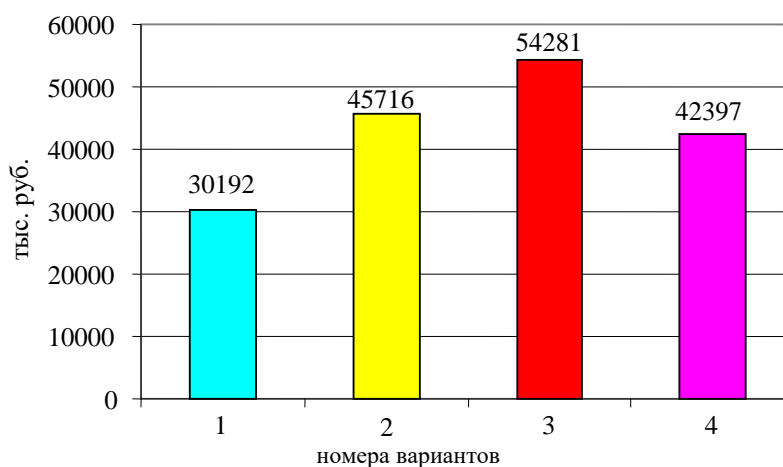


Рис. 4. Затраты на электрическую энергию

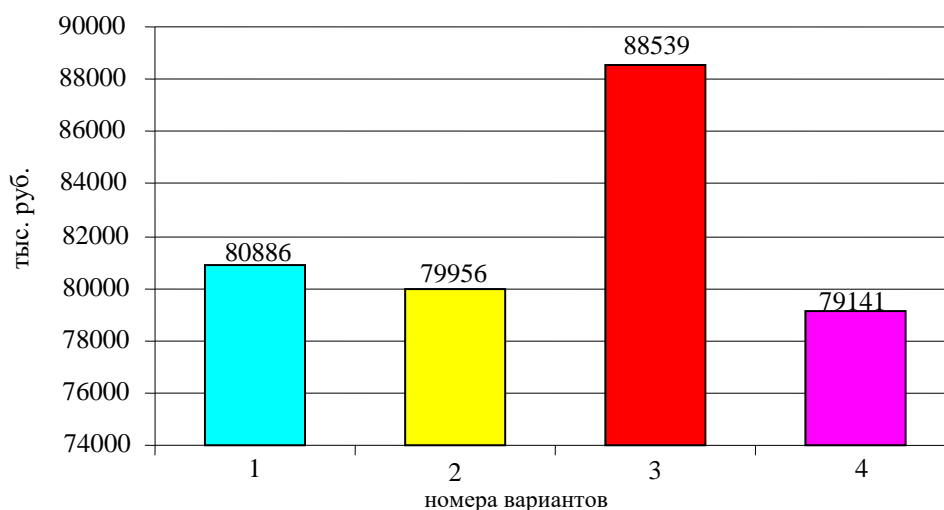


Рис. 5. Приведенные затраты

Анализируя годовые эксплуатационные затраты, можно сделать выводы о том, что наибольшие затраты в третьем варианте, где не используется объемный коллектор-сборник, за счет значительных расходов на электроэнергию при транспортировании материала на значительные расстояния. В первом варианте также большие эксплуатационные затраты за счет расхода тепловой энергии. Наименьшие годовые эксплуатационные затраты во втором и четвертом вариантах.

Сравнение приведенных затрат позволило сделать следующие *выводы*:

- при сравнении варианта 1 с вариантами 2 и 4 (без рециркуляции и с использованием рециркуляции воздуха) экономия в варианте 2 составляет 930 тыс. руб. в год*, а в варианте 4 – 1745 тыс. руб. в год;
- сравнивая вариант 1 с вариантом 3, видно, что применение рециркуляции не приводит к снижению приведенных затрат, так как использование аспирационного коллектора приводит к повышенным затратам на транспортирование материала. Разница в приведенных затратах между вторым и третьим вариантами составляет 8583 тыс. руб. в год, следовательно, применение вертикального коллектора-сборника в качестве первой ступени очистки воздуха рационально;

* Экономия в ценах 2006 года.

- минимальными приведенными затратами обладает четвертый вариант с объемным коллектором-сборником и рукавным фильтром; по сравнению со вторым вариантом экономия составляет 815 тыс. руб. в год. Но учитывая, что рукавные фильтры не предназначены для работы со слипающейся и влажной пылью, применение второго варианта с вертикальным коллектором-сборником, циклоном и матерчатым фильтром при определенных условиях целесообразно, так как у него меньшие капиталовложения и небольшая разница в приведенных затратах по сравнению с использованием рукавного фильтра.

Заключение. Так как в существующих системах аспирации чаще применяется циклон и аспирационный коллектор без использования рециркуляции воздуха, то для экономии энергетических ресурсов и улучшения эффективности очистки воздуха от мелкодисперсной пыли рекомендуется при реконструкции и модернизации систем аспирации устанавливать перед циклоном вертикальный коллектор-сборник, а после циклона – матерчатый фильтр и использовать рециркуляцию воздуха.

Учитывая технологические особенности, выбор применения рукавного фильтра или циклона в сочетании с матерчатым фильтром остается за специалистами предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воскресенский, В.Е. Системы пневмотранспорта, пылеулавливания и вентиляции на деревообрабатывающих предприятиях. Теория и практика: в 2 т. / В.Е. Воскресенский. – СПб., 2009. – Т. 2: Аспирационные и транспортные пневмосистемы. – 2009.
2. Аспирационный вертикальный коллектор-сборник: пат. 365 Респ. Беларусь, МПК В 08 В 15/00 / Т.И. Королева; заявл. 26.12.2000; опубл. 30.09.2001 // Официальный бюл. гос. пат. ведомства Респ. Беларусь. – 2001. – № 3.
3. Методические указания по определению стоимости строительства в текущем уровне цен, расчету и применению индексов цен в строительстве: РСН 8.01.105-2007 / М-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь. – Минск, 2007. – 51 с.

Поступила 03.05.2011

POWER SAVING UP AND ECOLOGICALLY SAFETY AIR RECOVERY ASPIRATION SYSTEMS OF WOODWORKING ENTERPRISES

T. KOROLEVA, O. KACHAN, I. SHEREMETYEV

The most widespread, traditional and modern wood waste aspiration systems are presented. Features, benefits and lacks are specified for each described system. Actions for technology improvement of aspiration systems for the purpose of decrease in their power consumption are offered. Some basic schemes of aspiration systems are investigated, technical and economic comparison under the expense of thermal and electrical energy, capital investments and annual operational expenses is executed for them. The economic variant on a minimum of the resulted expenses is defined. The comparative analysis of various schemes of aspiration systems with air recovery by the most significant criteria is resulted. Recommendations for choice of aspiration systems taking into account technical and economic and technology requirements are made.