

УДК 697.921.42

А. В. Некротюк, аспирант  
Е. В. Корепанов, кандидат технических наук, доцент  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА МОНТАЖНИКА РАДИОАППАРАТУРЫ

*Предложена структурная модель системы местной вытяжной вентиляции рабочего места монтажника радиоаппаратуры. Проведен анализ функциональных структурных связей.*

**Ключевые слова:** местная вентиляция, вентиляция рабочего места монтажника, функционально-структурная модель вентиляции, вентиляция цеха монтажа радиоаппаратуры.

Повышение производительности труда и качества выпускаемой продукции в условиях жесткой конкуренции приборостроительной отрасли требует совершенствования и оптимизации систем обеспечения комфортных условий микроклимата в цехах монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Микроклимат производственного помещения характеризуется следующими параметрами: температурой и относительной влажностью воздуха, подвижностью воздуха; газового состава и чистоты воздуха; интенсивностью теплового излучения рабочих и ограждающих поверхностей.

Согласно требованиям ОСТ 92-8605–2008 «Помещения производственные для изготовления микроэлектронных изделий и печатных плат. Общие требования» для удовлетворения санитарно-гигиеническим нормам на рабочем месте монтажника радиоэлектронной аппаратуры» необходимо обеспечение следующих параметров микроклимата:

- класс 8 ИСО по запыленности – не более 3520000 частиц размером 0,5 мкм, 832000 частиц размером 1 мкм, 29300 частиц размером 5 мкм в 1 м<sup>3</sup> воздуха;

- класс 3 по точности поддержания температуры: в летний период ( $23 \pm 2$ ) °С и в зимний период ( $20 \pm 2$ ) °С;

- класс 3 по точности поддержания относительной влажности воздуха – ( $50 \pm 10$ ) %.

Для создания и поддержания требуемых параметров воздушной среды применяют системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Система отопления функционирует в холодный период года и обеспечивает температурную обстановку, соответствующую комфортным параметрам для человека и отвечающую требованиям технологического процесса. Снижение энергоемкости отопительных систем обеспечивается выбором рациональной конструкции системы отопления и снижением теплопотерь через наружные ограждения [1–4].

Система кондиционирования обеспечивает необходимую для работников цеха и технологического процесса влажность в помещении и комфортный тепловой режим в летний период [5].

Влияние на монтажников радиоаппаратуры избытка теплоты и влаги, а также выделяющихся в технологическом процессе токсичных паров и газов

нейтрализуется системой вентиляции цеха. Удаление из помещения загрязненного воздуха и подача в цех свежего воздуха осуществляется общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией, а удаление вредных, выделяемых при пайке, – местной вытяжной вентиляцией.

Создание сбалансированной системы общеобменной и местной вытяжной вентиляции оказывает влияние не только на производительность труда и качество выпускаемой продукции, но и на здоровье работников.

Известны работы по совершенствованию систем местной вытяжной вентиляции и оптимизации воздухообмена для различных производственных условий [6, 7]; работы по системному анализу и оптимизации средств обеспечения параметров микроклимата [8]; исследования, систематизирующие и обобщающие характеристики местных вытяжных устройств [9]; оценки эффективности местной вытяжной вентиляции [10].

Для выбора наиболее рациональной системы местной вытяжной вентиляции на рабочем месте монтажника радиоэлектронной аппаратуры воспользуемся методами функционально-структурного анализа, сущность которого заключается в рассмотрении объекта не в его конкретной форме, а в совокупности функций, которые он должен выполнять.

Основными элементами системы местной вытяжной вентиляции в общем виде являются: система воздухоудаления; система утилизации теплоты; вытяжная установка; регулирующие устройства. Структура системы местной вытяжной вентиляции представлена на рис. 1.

Состав функций местной вытяжной вентиляции представлен в таблице, а функциональная модель – на рис. 2.

Главная функция системы местной вытяжной вентиляции на рабочем месте монтажника радиоаппаратуры – удаление вредных, образующихся при пайке (ГФ1), определяет назначение и сущность существования системы в целом. На этом же уровне находится дополнительная функция – обеспечение комфортных условий работы монтажника (ДФ1).

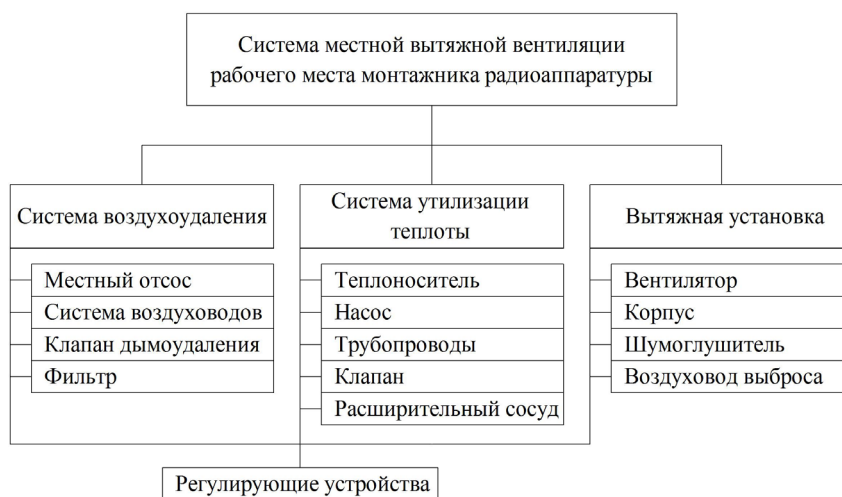


Рис. 1. Структурная модель системы местной вытяжной вентиляции

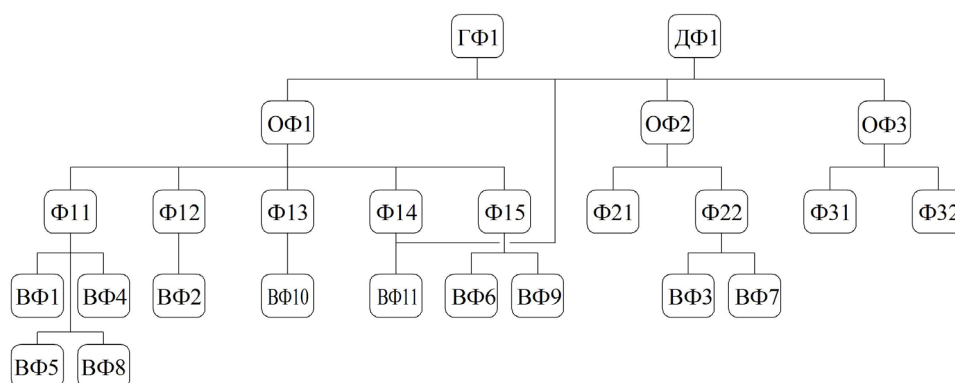


Рис. 2. Функциональная модель системы местной вытяжной вентиляции

#### Состав функций системы местной вытяжной вентиляции

Уровень модели	Индекс функции	Наименование функции
1	ГФ1	Удаление вредных веществ, образующихся при пайке (концентрация вредных веществ)
	ДФ1	Обеспечение комфортных условий работы монтажника (скорость движения воздуха, уровень шума)
2	ОФ1	Воздухоудаление
	ОФ2	Сохранение энергии
	ОФ3	Выброс воздуха
3	Ф11	Обеспечение необходимой скорости удаления воздуха и необходимого количества воздуха
	Ф12	Локализация вытяжных воздухораспределительных устройств
	Ф13	Движение воздуха по воздуховоду
	Ф14	Очистка удаленного воздуха
	Ф15	Обеспечение необходимого уровня шума
	Ф21	Сохранение электрической энергии
	Ф22	Сохранение температуры
	Ф31	Движение воздуха по воздуховоду
4	Ф32	Выход воздуха в атмосферу
	ВФ1	Регулирование скорости потока воздуха
	ВФ2	Регулирование направления потока
	ВФ3	Регулирование температуры теплоносителя
	ВФ4	Контроль скорости потока воздуха
	ВФ5	Контроль концентрации вредных веществ
	ВФ6	Контроль уровня шума
	ВФ7	Контроль температуры теплоносителя
	ВФ8	Контроль давления
	ВФ9	Виброизоляция
	ВФ10	Обеспечение герметичности воздуховодов
ВФ11	Обеспечение периодического обслуживания	

Первый уровень составляют главная функция (ГФ1) и дополнительная функция (ДФ1). Основные функции (ОФ), характеризующие последовательность преобразований, происходящих в структуре системы местной вытяжной вентиляции и соответствующих принципу действия, составляют второй уровень функциональной модели.

Функции (Ф), представляющие собой дифференциацию основных функций, располагаются на третьем уровне.

На четвертом уровне располагаются вспомогательные функции (ВФ), создающие условия для выполнения основных функций системы местной вытяжной вентиляции.

Структурная модель отражает только наиболее устойчивые, статические связи. Функциональная модель слишком абстрактна. Действительные свойства проявляются через динамические связи, действия и взаимодействия которых происходят в процессе функционирования. Для определения функциональности, полезности материальных элементов,

оценки качества исполнения функций, определения функционально-структурной организации построена совмещенная функционально-структурная модель (рис. 3). Рассмотрим основные функции (ОФ) системы местной вытяжной вентиляции и структуры, их реализующие.

Основная функция ОФ1 реализуется двумя структурными элементами – вытяжной установкой, включающей в себя вентилятор (Ф11), шумоглушитель (Ф15), и системой воздухоудаления, включающей местные отсосы (Ф12), сеть воздухопроводов (Ф13), клапан дымоудаления, систему очистки удаляемого воздуха (Ф14).

Одной из самых важных основных функций является функция сохранения энергии (ОФ2). Реализуется она системой утилизации теплоты (Ф22), включающей насос, теплоноситель, трубопроводы, клапаны, расширительный сосуд, регулирующими устройствами, а также конструктивным исполнением местных отсосов (Ф12) и сети воздухопроводов (Ф13).

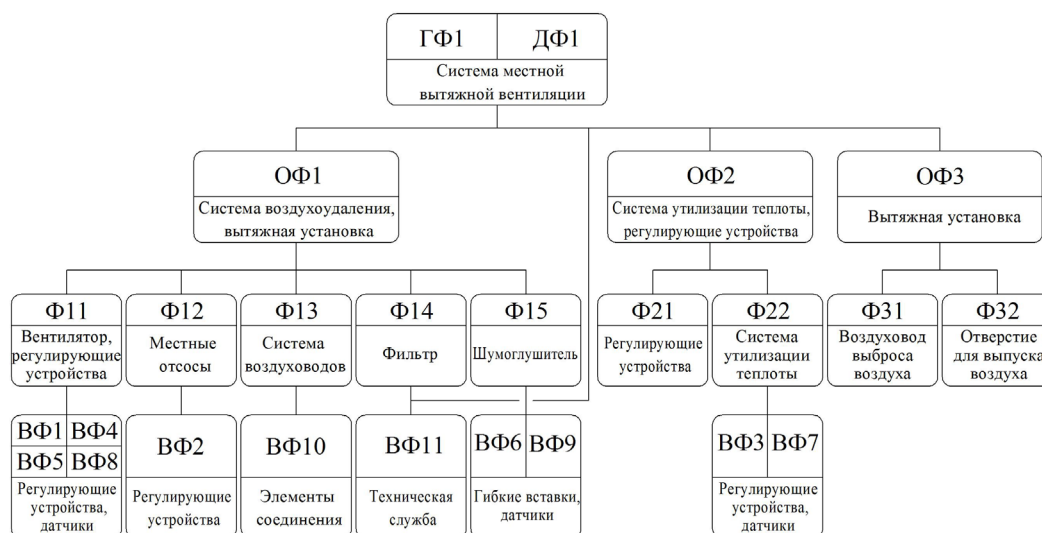


Рис. 3. Функционально-структурная модель системы местной вытяжной вентиляции

Вентилятор обеспечивает необходимую скорость и количество удаляемого воздуха. Также вентилятор обеспечивает скорость воздуха в воздуховодах, большую скорости витания частиц, что предотвращает оседание частиц на стенки труб.

Для сохранения электрической энергии (Ф21) все элементы должны быть тщательно подобраны по необходимым параметрам. Кроме того, параметры должны постоянно регулироваться и контролироваться (ВФ1-ВФ8).

Важной функцией является обеспечение удаления количества пыли, требуемого нормативными документами, и газов, реализуемое системой очистки (Ф14). Для аспирации могут быть применены следующие устройства: циклоны (ЦН-15), картриджные (ФПИ), рукавный фильтр (ФРИП), мокрые (ПВМ), электростатические (ФЭКВ), пылеулавливающие агрегаты (ПАР). Необходимо отметить, что все фильтры нуждаются в периодической очистке фильтрующего материала (ВФ13).

Важными вспомогательными функциями являются виброизоляция, реализуемая посредством гибких вставок (ВФ9), предотвращающих распространение аэродинамического шума.

Из анализа функционально-структурной модели следует, что для выбора наиболее рационального конструктивного исполнения системы местной вытяжной вентиляции на рабочем месте монтажника радиоаппаратуры и оптимизации режима ее работы необходимо использовать следующие группы факторов:

- комфорт, здоровье и безопасность работы (концентрация вредных веществ, уровень интенсивности шума, скорость обдува монтажника потоком воздуха и эквивалентная температура в зоне действия отсоса);
- ресурсоемкость и затраты, связанные со строительством системы вытяжной вентиляции (капитальные затраты на монтаж системы, наличие сложных механизмов и узлов, затраты на монтаж и пусконаладку оборудования);

- энергоемкость системы (затраты энергоресурсов в процессе работы системы, возможность утилизации теплоты удаляемого воздуха);
- эксплуатационные характеристики (сложность технического обслуживания, регламентные работы, ремонтные работы, живучесть и надежность работы системы);
- воздействие на окружающую среду (эффективность очистки воздуха, система автоматического контроля загрязнения окружающей среды).

При большом количестве разнородных факторов выбор рациональной системы вытяжной вентиляции возможен применением комплексной оценки с учетом степени влияния каждого фактора и его приоритета, определяемого методом экспертных оценок. Комплексная оценка может быть получена применением теории нейронных сетей [11].

Количественная оценка ряда факторов требует дополнительных исследований, как статистических, так и теоретических. Так, например, выбор режимов функционирования требует имитационного моделирования процессов в среде «система вентиляции рабочего места – человек» [12]. Применение методов моделирования будет способствовать определению режимов функционирования и конфигурации оборудования с точностью, достаточной для обеспечения заданных параметров с наименьшими затратами на энергопотребление.

#### Библиографические ссылки

1. *Кувшинов Ю. Я.* Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения. – М. : Изд-во АСВ, 2007. – 184 с.
2. *Корепанов Е. В.* Численное моделирование процесса теплопередачи через стеклопакеты с газовым наполнением // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2004. – № 3. – С. 29–32.
3. *Корепанов Е. В.* Свободная конвекция в окнах с двойным остеклением // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 2. – С. 106–113.
4. *Корепанов, Е. В.* Математическое моделирование теплопередачи через наружные стены зданий с окнами: монография. – Ижевск : Изд-во Ижев. гос. техн. ун-та, 2011. – 192 с.
5. *Кокорин О. Я.* Современные системы кондиционирования воздуха. – М. : Изд-во физико-математической литературы, 2003. – 272 с.
6. Построение эффективного воздухообмена для помещений производств с местной вытяжной вентиляцией с использованием математической модели / И. И. Полосин, С. Н. Кузнецов, А. В. Портянников, А. В. Дерепасов // Известия КГАСУ. – 2009. – № 1. – С. 191–195.
7. *Самарская Ю. Г.* Совершенствование систем местной вытяжной вентиляции с организованным отсосом из бункерной зоны пылеулавливающих аппаратов ВЗП // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – Сер. : Политематическая. – 2008. – Вып. 1 (5). – URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/1\(5\)-3.3\\_2008.pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/1(5)-3.3_2008.pdf).
8. *Некротюк А. В., Корепанов Е. В.* Системный анализ средств обеспечения параметров микроклимата рабочего места монтажника радиоэлектронной аппаратуры // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI в. : электронное научное издание : сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 23–25 апреля 2013 года. – Ижевск, 2013. – С. 1361–1364.
9. *Сотников А. Г., Боровицкий А. А.* Систематизация и обобщение характеристик местных вытяжных устройств – основа инженерной методики проектирования эффективных систем промышленной вентиляции // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 6. – С. 54–86.
10. *Croteau G. A., Flanagan M. E., Camp J. E., Seixas N. S.* The Efficacy of Local Exhaust Ventilation for Controlling Dust Exposures During Concrete Surface Grinding // British Occupational Hygiene Society Published by Oxford University Press. 2004. Vol. 48. № 6. – P. 509–518.
11. *Некротюк А. В., Корепанов Е. В.* Моделирование процесса воздухообмена на рабочем месте монтажника радиоэлектронной аппаратуры // Достижения ученых XXI века. – 2013. – № 7. – С. 34–36.
12. *Некротюк А. В., Палагин А. В., Корепанов Е. В.* Применение нейронных сетей для оптимизации системы микроклимата цеха монтажа радиоэлектронной аппаратуры // Глобальная научная интеграция. – 2013. – № 6. – С. 55–56.

\*\*\*

*A. V. Nekrotyuk*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU

*E. V. Korepanov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

#### Functional structural model of a system of local exhaust ventilation for the workplace of radio equipment wireman

*The structural model of a system of local exhaust ventilation for the workplace of the radio equipment wireman is proposed. The analysis of functional structural relations is carried out.*

**Keywords:** local ventilation, workplace ventilation installers, functional structural model of ventilation, ventilation plant installation of radio equipment.

Получено: 23.03.15