

Инженерное оборудование зданий и сооружений

УДК 697.921.42

DOI: 10.14529/build160408

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕГО МЕСТА МОНТАЖНИКА РАДИОАППАРАТУРЫ

А.В. Некротюк, Е.В. Корепанов

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск

Описана структура системы обеспечения параметров микроклимата рабочего места в цехе монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Разработана функционально-структурная модель системы кондиционирования цеха. Описана математическая модель регулирования параметров микроклимата энергоэффективной системы. По результатам предварительного расчета распределения скорости потока воздуха в рабочей зоне и около монтажника с оценкой балла комфортности теплового ощущения PMV. Показана необходимость учета самочувствия монтажника, как определяющего при выборе конструктивного решения местной вентиляции. Сформулированы проблема и задачи дальнейшего исследования по созданию эффективной системы обеспечения микроклимата, характеризуемой большим количеством альтернативных решений и множеством разнохарактерных факторов.

Ключевые слова: параметры микроклимата, тепловой комфорт, функционально-структурная модель, математическое моделирование вентиляции, вентиляция цеха монтажа радиоаппаратуры.

Развитие приборостроительной отрасли связано с появлением новых технологий, предъявляющих все более жесткие требования к параметрам воздушной среды, что требует совершенствования и оптимизации систем обеспечения микроклимата в цехах монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Создание сбалансированной системы общеобменной и местной вытяжной вентиляции оказывает влияние не только на производительность труда и качество выпускаемой продукции, но и на здоровье работников.

Параметры микроклимата могут быть обеспечены определенным комплексом систем, к которым относятся системы общеобменной вентиляции, системы центрального отопления, системы местной вытяжки, центральные системы кондиционирования воздуха, дымоуловители и другие системы [1–3]. Известны работы по совершенствованию систем местной вытяжной вентиляции и оптимизации воздухообмена для различных производственных условий [4, 5]; работы по системному анализу и оптимизации средств обеспечения параметров микроклимата [6, 7]; исследования, систематизирующие и обобщающие характеристики местных вытяжных устройств [8]; оценки эффективности местной вытяжной вентиляции [9–11].

Структура системы обеспечения микроклимата в цехе монтажа радиоэлектронной аппаратуры представлена на рис. 1. Основными элементами системы являются подсистемы общеобменной и местной вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

Система отопления функционирует в холод-

ный 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 (водяное, воздушное и пр.) и снижением теплопотерь через наружные ограждения [12–14]. Параметрами регулирования для подсистемы отопления являются температура воздуха, расход и температура теплоносителя (температурный график).

Подсистема местной вентиляции формирует воздушный поток в рабочей зоне, необходимый для удаления выделяющихся вредных веществ, и непосредственно влияет на ощущение комфорта у монтажника. Зачастую скорость воздушного потока, воздействующего на монтажника, превышает уровень комфорта, оцениваемого значением балла комфортности теплоощущения PMV [15]. Параметрами регулирования для местной вытяжной вентиляции являются концентрация вредных веществ, скорость вытяжки в рабочей зоне, скорость воздуха на поверхности тела монтажника (особенно на незащищенной) и балл комфортности.

Подсистемы общеобменной приточной и подсистема кондиционирования воздуха обеспечивают приток и подготовку свежего воздуха в помещение. Подсистема общеобменной вытяжной вентиляции предназначена для удаления отработанного воздуха. Параметрами регулирования для общеобменной вентиляции являются чистота воз-

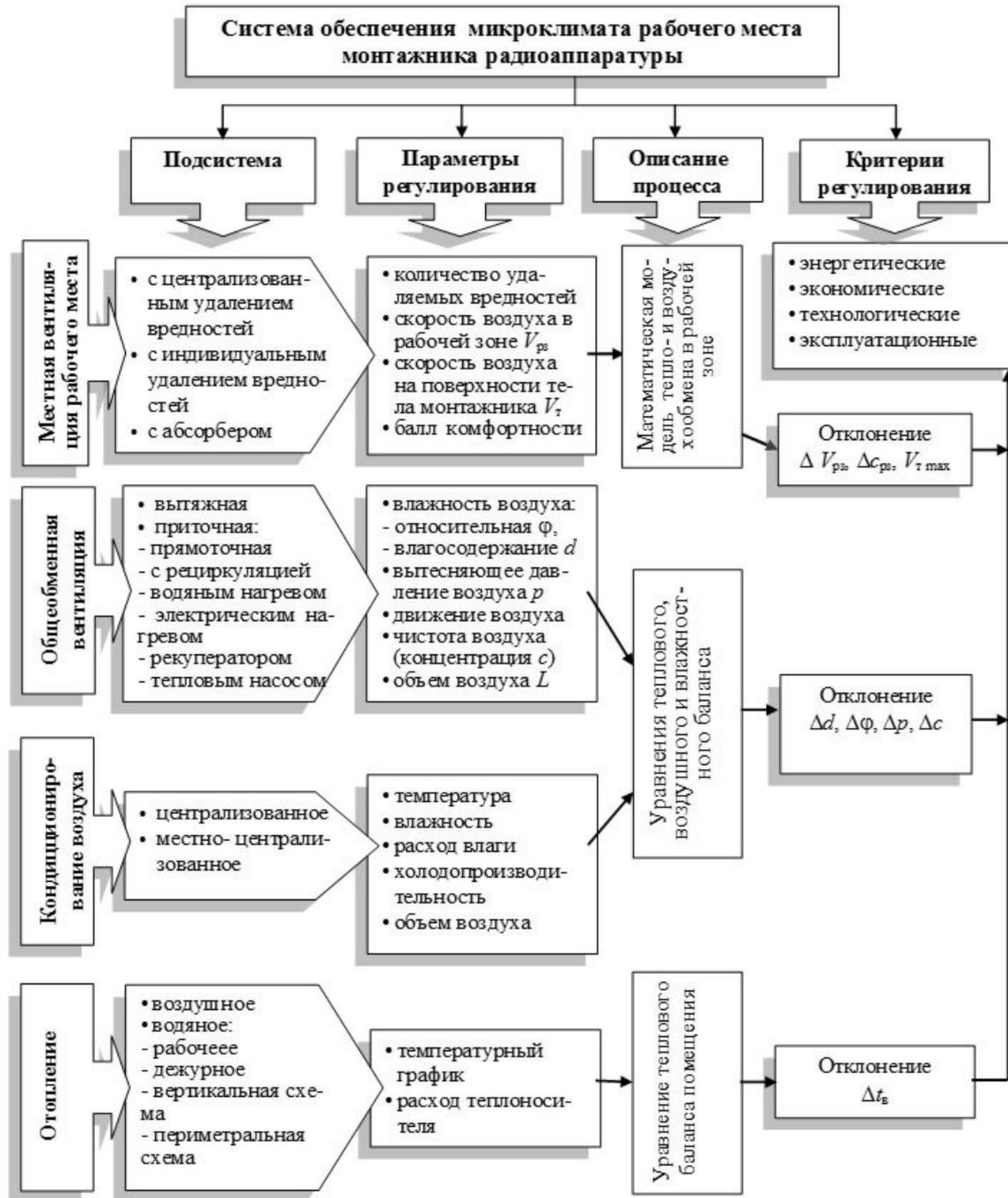


Рис. 1. Структура системы обеспечения микроклимата рабочего места монтажника радиоаппаратуры

духа, влажность воздуха, подвижность воздуха, вытесняющее давление и объем воздуха.

Система кондиционирования поддерживает необходимый комфортный тепловой и влажностный режим помещения в теплый период, необходимый для производительного труда работников цеха и технологического процесса [16, 17]. Необходимый температурный режим в теплый период в помещениях малой площади может быть обеспечен и установкой в системе общеобменной приточной вентиляции охладителей воздуха. При

этом требуемая влажность может поддерживаться в рабочих помещениях увлажнителями воздуха. В холодный период система центрального кондиционирования выполняет функции общеобменной приточной вентиляции. Параметрами регулирования для подсистемы кондиционирования являются температура и влажность воздуха, холодопроизводительность, расход влаги для увлажнения воздуха и расход воздуха.

Повысить энергоэффективность системы обеспечения микроклимата помещения позволяет:

Инженерное оборудование зданий и сооружений

выбор рациональной конструкции, позволяющей уменьшить расход приточного воздуха общеобменной и местной вентиляции; утилизация теплоты вытяжного воздуха с помощью пластинчатых или роторных рекуператоров, а также тепловых насосов; оптимизация теплового и воздушного режима в рабочей зоне и ряд других мероприятий.

Для выбора наиболее рациональной конструкции системы обеспечения микроклимата на рабочем месте монтажника радиоэлектронной аппаратуры целесообразно использовать метод функционально-структурного анализа, сущность которого заключается в рассмотрении объекта не в его конкретной форме, а в совокупности функций, которые он должен выполнять [18, 19].

Принципиальная схема одного из вариантов системы обеспечения микроклимата в цехе монтажа радиоэлектронной аппаратуры представлена на рис. 2.

В приточной части системы предусмотрено следующее функциональное оборудование: воздушный клапан для отключения от наружного воздуха при остановленном приточном вентиляторе 1; воздушный фильтр 2; теплоотдающий теплообменник 3 установки утилизации теплоты вытяжного воздуха; калорифер первого подогрева 4; секция адиабатного увлажнения 5; воздухоохладитель и осушитель с наличием поддона и сепаратора 6; калорифер второго подогрева 7; приточный вентилятор 8; шумоглушитель 9; магистральный приточный воздуховод 10; отводы приточного воздухово-

да в помещение цеха 11; приточные решетки 12. В обслуживаемом помещении установлены отопительные приборы с терморегулятором 15.

Вытяжная система включает: отводы вытяжного воздуховода из помещения цеха 13; вытяжные решетки 14; местные отсосы на рабочих местах 16; вытяжные отводы от каждого рабочего места для удаления воздуха 17; вытяжной магистральный воздуховод 18; клапан дымоудаления 19; воздушный фильтр 20; теплоизвлекающий теплообменник 21 установки утилизации с поддоном для удаления в канализацию сконденсированной влаги; шумоглушитель 22; вытяжной вентилятор 23; воздуховод выброса удаляемого воздуха в атмосферу 24.

В качестве утилизатора теплоты выбран тепловой насос, позволяющий обеспечивать требуемый температурный режим, как в теплый, так и холодный период года. Теплоизвлекающий 21 и теплоотдающий 3 теплообменники установки утилизации соединены подающими и обратными трубопроводами 25 для циркуляции антифриза при работе насоса 27. Для компенсации объемных расширений антифриза при изменениях температуры служит герметичный расширительный сосуд 26. На перемычке между подающим и обратным трубопроводами смонтирован автоматический клапан 28, управляемый от датчика контроля минимально возможной температуры охлажденного антифриза, что обеспечивает защиту от замерзания, выпадающего на поверхности теплоизвле-

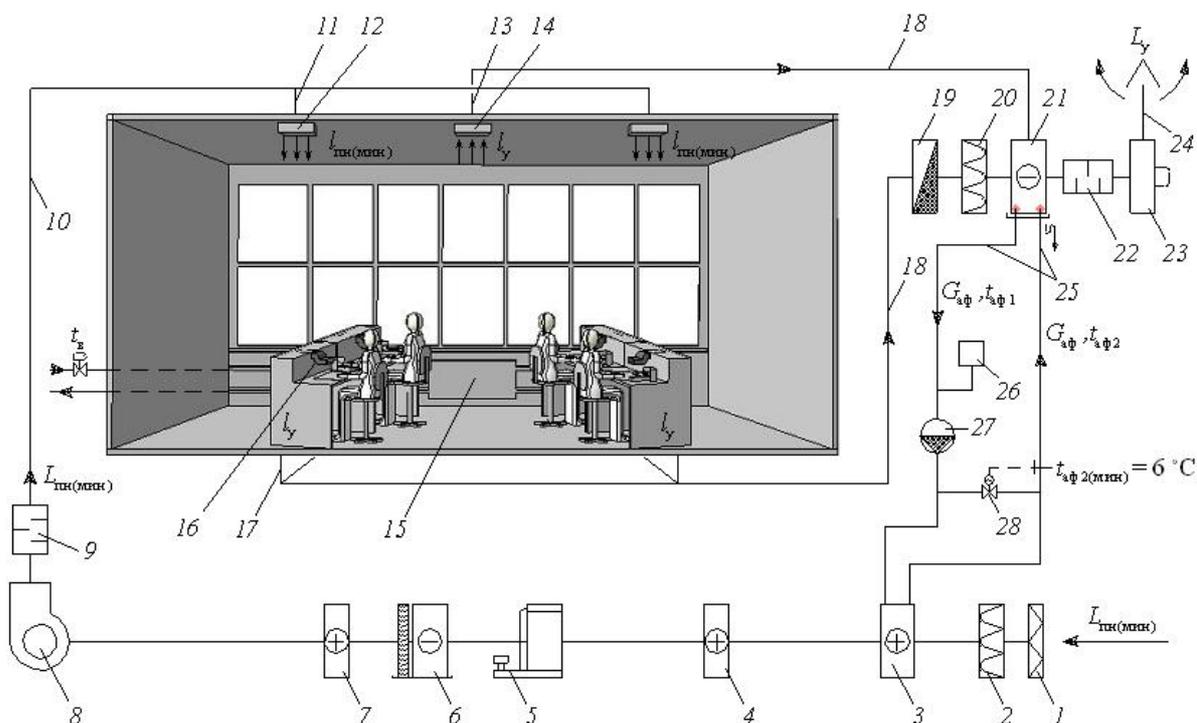


Рис. 2. Принципиальная схема системы обеспечения микроклимата в цехе монтажа радиоэлектронной аппаратуры

кающего теплообменника конденсата при охлаждении и осушении удаляемого воздуха.

Структурная модель составляется в виде иерархической блок-схемы, отражающей только наиболее устоявшиеся, статические связи отдельных конструктивных элементов системы (устройства воздухоудаления, утилизации теплоты, вытяжной установки, регулирующих устройств и т.д.). В функциональной модели действительные свойства проявляются через динамические связи, действия и взаимодействия которых происходят в процессе функционирования. Функциональная модель отображает функции, которые должна выполнять система, но является абстрактной, поскольку не связана с конкретными конструктивными элементами, исполняющими эти функции.

Для определения функциональности, полезности конструктивных элементов, оценки качества исполнения функций, определения функционально-структурной организации строится совмещенная функционально-структурная модель, в которой каждая функция связывается с определенным материальным элементом конструкции.

Функционально-структурная модель системы местной вытяжной вентиляции приведена в [19], а системы кондиционирования воздуха или приточной общеобменной вентиляции с элементами ох-

лаждения и увлажнения на рис. 3. Состав функций приведен в таблице.

Главная функция системы состоит в подаче свежего воздуха в помещение цеха (ГФ1). На этом же уровне находится дополнительная функция – обеспечение комфортных условий работы монтажника (ДФ1).

Основная функция ОФ1 реализуется системой воздухозабора, включающей в себя воздушный клапан, вентилятор (Ф11), систему очистки наружного воздуха (Ф12), сеть воздухопроводов (Ф13), шумоглушитель (Ф15). Вентилятор обеспечивает необходимый напор, который определяется в зависимости от сопротивления сети. Очистка наружного воздуха осуществляется в фильтре приточной установки. Все фильтры нуждаются в периодической очистке фильтрующего материала (ВФ12).

Одной из самых важных основных функций является функция энергосбережения (ОФ2). Реализуется она системой утилизации теплоты и регулирующими устройствами (Ф21), а также конструктивным исполнением сети воздухопроводов (Ф13). Функционально-структурная модель позволяет определить способы снижения энергопотребления системы и связать их с режимом работы и конструктивным исполнением конкретного элемента.

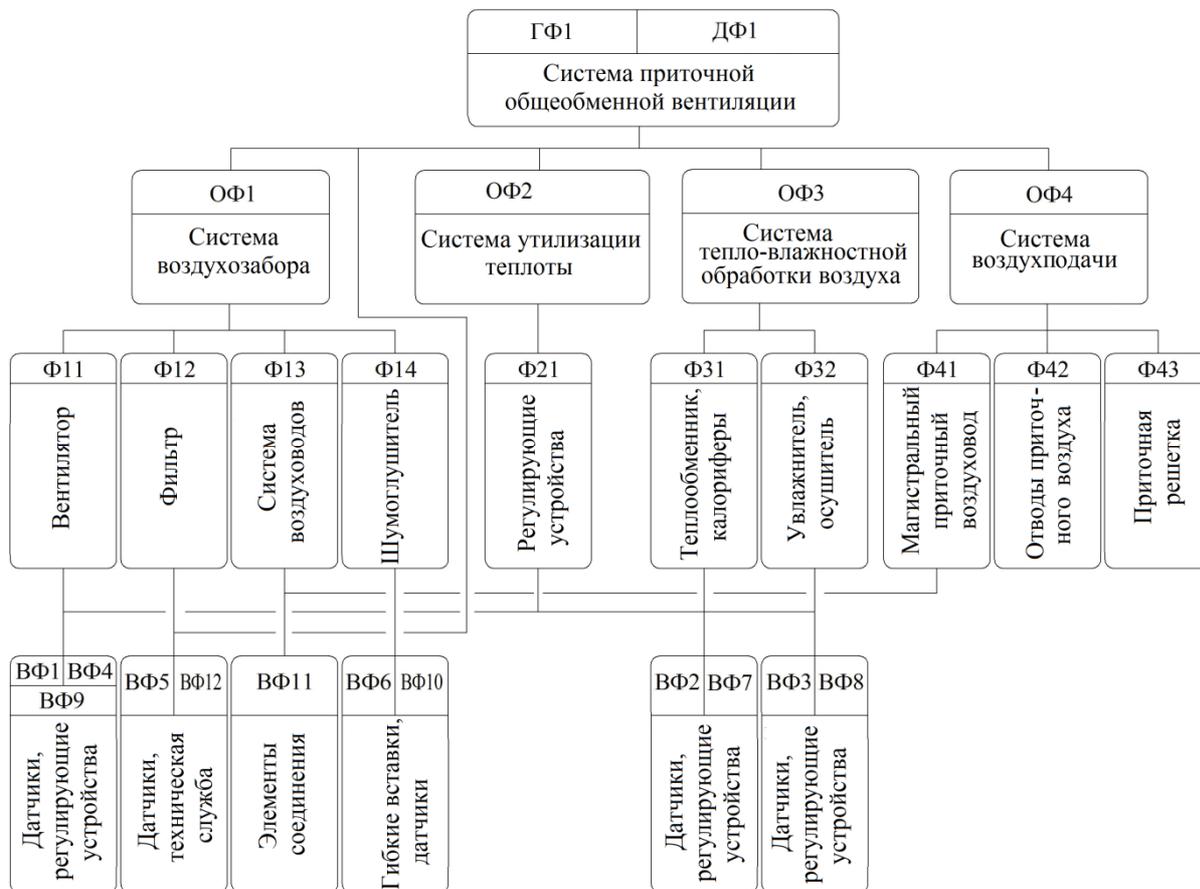


Рис. 3. Функционально-структурная модель системы кондиционирования воздуха

Состав функций системы

Уровень модели	Индекс функции	Наименование функции
1	ГФ1	Подача свежего воздуха в помещение цеха (воздухообмен)
	ДФ1	Обеспечение комфортных условий работы монтажника (температура, влажность, уровень шума)
2	ОФ1	Воздухозабор
	ОФ2	Энергосбережение
	ОФ3	Тепловлажностная обработка воздуха
	ОФ4	Воздухоподача
3	Ф11	Обеспечение необходимого количества воздуха
	Ф12	Очистка наружного воздуха
	Ф13	Движение воздуха по воздуховоду
	Ф14	Обеспечение необходимого уровня шума
	Ф21	Экономия электрической энергии
	Ф31	Обеспечение необходимой температуры воздуха
	Ф32	Обеспечение необходимой влажности
	Ф41	Движение воздуха по воздуховоду
	Ф42	Локализация приточных воздухораспределительных устройств
	Ф43	Распределение воздуха в помещение цеха
4	ВФ1	Регулирование скорости потока воздуха
	ВФ2	Регулирование температуры воздуха
	ВФ3	Регулирование влажности воздуха
	ВФ4	Контроль скорости потока воздуха
	ВФ5	Контроль чистоты воздуха
	ВФ6	Контроль уровня шума
	ВФ7	Контроль температуры воздуха
	ВФ8	Контроль влажности воздуха
	ВФ9	Контроль давления
	ВФ10	Виброизоляция
	ВФ11	Обеспечение герметичности воздуховодов
	ВФ12	Обеспечение периодического обслуживания

Проектирование системы обеспечения микроклимата и управление процессами и режимами работы по критериям энергоэффективности, качества поддержания параметров, надежности функционирования и простоты и экономичности эксплуатации на основе функционально-структурной теории основывается на математическом моделировании системы.

Разработка энергоэффективных схем обеспечения микроклимата на рабочих местах монтажников радиоэлектронной аппаратуры может быть сформулирована как задача определения совокупности значений конструктивных и режимных параметров системы общеобменной вентиляции и кондиционирования, местной вытяжной вентиляции, системы отопления и системы теплоснабжения воздухонагревательных установок, при которых целевые функции (расход теплоты на теплоснабжение цеха $Q_{\text{тепл}}$, расход приточного $L_{\text{пр}}$ и ожидаемое значение теплоощущения PMV) принимают минимальное значение

$$\begin{cases} Q_{\text{тепл}}(\mathbf{K}_{\text{огр}}, \mathbf{K}_{\text{ск}}, \mathbf{K}_{\text{рек}}, \mathbf{K}_{\text{со}}, L_{\text{пр}}, t_{\text{в}}, t_{\text{н}}) \rightarrow \min, \\ L_{\text{пр}}(\mathbf{K}_{\text{мв}}, V_{\text{рз}}, t_{\text{в}}, t_{\text{н}}, \text{PMV}) \rightarrow \min, \\ \text{PMV}(V_{\text{в}}, t_{\text{в}}, \phi_{\text{в}}) \rightarrow 0, \end{cases} \quad (1)$$

с условием, что выполняются ограничения, наложенные на значения искомым параметров:

$$\begin{cases} 5 \text{ Па} \leq p - p_{\text{бар}} \leq 20 \text{ Па}, \\ V_{\text{рз}} \geq V_{\text{рз}}^{\min}, \\ 40 \% \leq \phi \leq 60 \%, \\ t_{\text{в}}^{\min} \leq t_{\text{в}} \leq t_{\text{в}}^{\max}, \\ -1 \leq \text{PMV}(V_{\text{в}}, t_{\text{в}}, M) \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $\mathbf{K}_{\text{огр}}$, $\mathbf{K}_{\text{ск}}$, $\mathbf{K}_{\text{рек}}$, $\mathbf{K}_{\text{со}}$, $\mathbf{K}_{\text{мв}}$ – совокупность значений (вектор) конструктивных параметров ограждающих конструкций здания, системы кондиционирования воздуха, рекуператора, системы отопления, местной вытяжной вентиляции; $t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – температура внутреннего и наружного воздуха; $V_{\text{в}}$, $V_{\text{рз}}$ – скорость внутреннего воздуха и вытяжного воздуха в рабочей зоне; ϕ – относитель-

ная влажность внутреннего воздуха; $p, p_{бар}$ – давление воздуха в чистом помещении и барометрическое давление.

Ограничения по избыточному давлению, по относительной влажности и по температуре воздуха в помещении определяются в соответствии с ОСТ92-8605-2008. «Помещения производственные для изготовления микроэлектронных изделий и печатных плат. Общие требования», а по ожидаемому значению теплоощущения PMV по МУК 4.3.1895-04 «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания». Скорость в рабочей зоне должна быть не меньше скорости, обеспечивающей удаление вредных веществ, выделяющихся при пайке.

Уравнение теплового баланса помещения характеризуется равенством между тепловыми потерями здания и теплопритоком:

$$Q_0 = \sum Q_{огр} + \Delta I_{пр} - Q_{рек} - Q_{раб} - \sum Q_{тех}, \quad (3)$$

где $Q_{огр}$ – потери через наружные ограждения (пол, стены, потолочные перекрытия, окна); $\Delta I_{пр}$ – изменение энтальпии приточного воздуха; $Q_{рек}$ – теплота рекуперационной установки; $Q_{раб}$ – теплота выделяемая работниками; $Q_{тех}$ – теплота, выделяемая технологическим оборудованием (освещение, местная, оборудования для пайки, теплота фазового перехода припоя и пр.).

Уравнение воздушного баланса характеризуется соотношением удаляемого количества воздуха общеобменной $L_{выт}^{об}$ и местной системы $L_{мест}$ и количеством приточного воздуха $L_{пр}$:

$$L_{пр} = \beta \left(L_{выт}^{об} + \sum L_{мест} \right), \quad (4)$$

где β – коэффициент дисбаланса притока и вытяжки, обеспечивающий избыточное давление в помещении 5–20 Па.

Уравнение влажностного баланса помещения имеет вид:

$$\sum G_{пр} d_{пр} + \sum W - \sum G_{выт} d_{выт} = 0, \quad (5)$$

где $G_{пр}, d_{пр}, G_{выт}, d_{выт}$ – массовый расход и влагосодержание приточного и удаляемого воздуха; W – интенсивность отдельных влаговыделений.

Математическая модель распространения воздушных потоков на рабочем месте монтажника радиоаппаратуры описывается уравнениями [20, 21]:

уравнение неразрывности –

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla(\rho \vec{V}) = 0; \quad (6)$$

уравнение движения –

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} + \rho \vec{V} \nabla \vec{V} = \rho \vec{g} - \nabla \left(p + \frac{2}{3} \mu_{эж} \nabla \vec{V} \right) + \nabla (2 \mu_{эж} S); \quad (7)$$

уравнение энергии для воздуха как идеального газа –

$$\rho \frac{d}{dt} \left(c_p T - \frac{p}{\rho} \right) + \rho \left(c_p T - \frac{p}{\rho} \right) \nabla \vec{V} = \nabla (\lambda_{эж} \nabla T) - p \nabla \vec{V} + \mu_{эж} \Phi; \quad (8)$$

уравнение состояния –

$$\frac{p}{\rho} = RT = \frac{R}{c_p} c_p T = \frac{c_p - c_v}{c_p} c_p T. \quad (9)$$

Здесь: \vec{V} – вектор скорости воздуха; S – тензор скоростей деформаций; Φ – диссипативная функция; \vec{g} – вектор ускорения свободного падения (вектор массовых сил); p – давление; c_p, c_v – изобарная и изохорная теплоемкость; R – универсальная газовая постоянная; $\mu_{эж}, \lambda_{эж}$ – эквивалентная вязкость и теплопроводность.

Для ламинарного режима $\mu_{эж} = \mu$ и $\lambda_{эж} = \lambda$. Для турбулентного течения $\mu_{эж} = \mu + \mu_t$ и $\lambda_{эж} = \lambda + \lambda_t$. Для определения турбулентной вязкости μ_t и теплопроводности λ_t используется k - ϵ модель турбулентности.

На рис. 4 приведены результаты расчета дви-

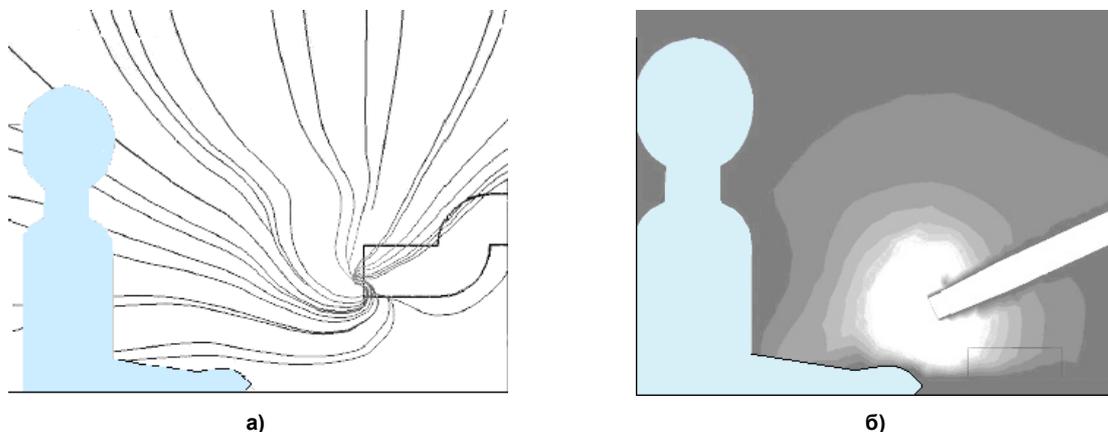


Рис. 4. Движение воздуха в рабочей области монтажника радиоэлектронной аппаратуры: а – стационарный отсос; б – гибкий отсос

жения воздуха в рабочей зоне и в области расположения монтажника. Температура воздуха принималась 20 °С (минимально допустимая температура), а метаболическая теплота – по ГОСТ Р ИСО 7243-2007.

На рис. 4, а приведены линии тока воздуха для стационарного прямоугольного отсоса, расположенного фронтально по отношению к монтажнику. Для обеспечения необходимой вытяжки скорость во входном сечении отсоса поддерживается 4,5 м/с. При этих условиях, скорость воздуха у поверхности тела монтажника достигает значения 2,0–3,5 м/с. Балл комфортности, соответствующий этим скоростям для закрытых спецодеждой частей тела равен $PMV = -1,1 \dots -1,59$ при минимально допустимом значении $PMV = -1$. Для открытых частей тела (голова, руки) балл комфортности достигает значения $PMV = -2,1 \dots -3,2$. Дискомфорт, ощущаемый монтажниками, приводит к тому, что зачастую всасывающее отверстие отсоса ими закрывается подручными материалами.

На рис. 4, б приведены поле скорости воздуха для гибкого передвижного отсоса. Скорость во входном сечении отсоса поддерживается 1,5 м/с. Белый цвет – максимальная скорость, черный – скорость равна нулю. Применением такого отсоса дискомфорт тела и головы практически решается, но остается проблема рук. При скоростях 0,5–1,25 м/с балл комфортности равен $PMV = -0,54 \dots -1,56$.

Обеспечить необходимый уровень комфорта возможно как конструктивным исполнением системы вентиляции, так и повышением температуры воздуха в помещении. Изменение конструкции местного отсоса приводит к изменению энергоемкости системы вентиляции, так как изменяется расход воздуха, аэродинамическое сопротивление системы, мощность вентиляционной установки, калорифера и рекуператора. Сводом правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» в качестве критерия выбора исполнения системы обеспечения микроклимата помещения рекомендуется принимать удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляции, но помимо тепловой характеристики при создании энергоэффективной системы необходимо учитывать:

- режимные параметры, оцениваемые факторами: расход воздуха, скорость воздуха в рабочей зоне, факторы комфортности и др.;
- энергоемкость системы и компонентов, оцениваемая факторами: затраты энергоресурсов на функционирование, гидравлическое сопротивление системы воздухоподачи, степень утилизации теплоты, класс энергоэффективности оборудования и др.;
- ресурсоемкость и затраты, связанные со строительством системы, оцениваемая факторами: ресурсоемкость системы, технологичность, капитальные затраты на строительство системы, потребность в сложных механизмах, временные и

финансовые затраты на монтаж и пусконаладку оборудования и др.;

- эксплуатационные параметры, оцениваемые факторами: сложность технического обслуживания, автоматическое регулирование, шум и вибрации, сроки регламентных работ, стоимость и продолжительность ремонтных работ, живучесть и надежность работы системы, стоимость обслуживания и др.;

- воздействие на окружающую среду, оцениваемое факторами: химическое воздействие, эффективность очистки воздуха, система автоматического контроля загрязнения окружающей среды и др.

Целью настоящей публикации было обозначить проблему, возникающую при проектировании и оценке альтернативных решений энергоэффективной системы климатизации помещения из-за большого количества факторов разнородных как по сущности, так и по размерности.

Используемые в настоящее время методы декомпозиции общей задачи на простые подзадачи и оценки принятого решения по отдельным однородным факторам (удельный расход теплоты, экономичность и пр.) дают зачастую противоречивые односторонние решения. Устранение недостатков, выявляемых при эксплуатации, требует затрат сравнимых с проектированием и строительством новых систем.

Целью дальнейших исследований является разработка метода комплексной оценки, позволяющей при выборе технологии и конструкции системы обеспечения микроклимата в цехах монтажа радиоэлектронной аппаратуры учесть максимально возможное количество факторов с использованием формализованных (относительных) факторов [22–24].

Одним из важных этапов решения многофакторной оптимизационной задачи является формирования критериев, позволяющих оценивать варианты технического решения. Сложность решения поставленной задачи заключается в том, что наряду с критериями, которые могут быть получены методами математического моделирования, существуют оценки, которые на сегодняшний момент имеют либо статистический, либо субъективный характер, основывающийся на собственном опыте (надежность, эксплуатационные параметры, живучесть компонентов системы и др.). Таким образом, для формирования и развития системы критериев необходима как разработка методов имитационного моделирования, так и внедрение методов экспертных оценок.

Литература

1. Батулин, В.В. Основы промышленной вентиляции / В.В. Батулин. – М.: Профиздат, 1990. – 448 с.
2. Молчанов, Б.С. Проектирование промышленной вентиляции / Б.С. Молчанов; под ред.

С.А. Абрамовича – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1970. – 239 с.

3. Кувшинов, Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения / Ю.Я. Кувшинов. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 184 с.

4. Построение эффективного воздухообмена для помещений производств с местной вытяжной вентиляцией с использованием математической модели / И.И. Полосин, С.Н. Кузнецов, А.В. Портяников, А.В. Дерепасов // Известия КГАСУ. – 2009. – № 1. – С. 191–195.

5. Самарская, Ю.Г. Совершенствование систем местной вытяжной вентиляции с организованным отсосом из бункерной зоны пылеулавливающих аппаратов ВЗП / Ю.Г. Самарская // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политехническая. – 2008. – Вып. 1(5). – [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/1\(5\)-3.3_2008.pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/1(5)-3.3_2008.pdf)

6. Некротюк, А.В. Системный анализ средств обеспечения параметров микроклимата рабочего места монтажника радиоэлектронной аппаратуры / А.В. Некротюк, Е.В. Корепанов // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке. [Электронный ресурс]: электрон. науч. изд.: сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием, Ижевск, 23–25 апр. 2013 г. – Ижевск, 2013. – С. 1361–1364.

7. Панфёров, С.В. Энергосберегающая система управления температурным режимом отапливаемых зданий / С.В. Панфёров // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2010. – №33. – С. 42–46.

8. Сотников, А.Г. Систематизация и обобщение характеристик местных вытяжных устройств – основа инженерной методики проектирования эффективных систем промышленной вентиляции / А.Г. Сотников, А.А. Боровицкий // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 6. – С. 54–86.

9. The Efficacy of Local Exhaust Ventilation for Controlling Dust Exposures During Concrete Surface Grinding / G.A. Croteau, M.E. Flanagan, J.E. Camp, N.S. Seixas // British Occupational Hygiene Society Published by Oxford University Press. – 2004. – Vol. 48. – № 6. – P. 509–518.

10. Математическое и компьютерное моделирование формирования параметров производственной среды в целях проектирования и оптимизации систем вентиляции помещений / Б.Ч. Месхи, Ю.И. Булыгин, А.Н. Легконогих, А.Л. Гайденко // Вестник ДГТУ. 2014. – Т.14. – № 2(77). – С. 46–55.

11. Позин, Г.М. К вопросу применения моделей турбулентности при численном моделировании вентиляционных процессов / Г.М. Позин, В.М. Уляшева, И.Д. Киборт // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 10. – С. 48–56.

12. Корепанов, Е.В. Термическое сопротив-

ление теплопередаче окна с селективным покрытием и газовым заполнением / Е.В. Корепанов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 6. – С. 59–62.

13. Корепанов, Е.В. Свободная конвекция в окнах с двойным остеклением / Е.В. Корепанов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 2. – С. 106–113.

14. Корепанов, Е.В. Математическое моделирование теплопередачи через наружные стены зданий с окнами: моногр. / Е.В. Корепанов. – Ижевск: Изд-во Ижев. гос. техн. ун-та, 2011. – 192 с.

15. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч. I. Теоретические основы создания микроклимата здания. / В.И. Полушкин, О.Н. Русак, С.И. Бурцев и др. – СПб: Профессия, 2001. – 176 с.

16. Кокорин, О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О.Я. Кокорин. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2003. – 272 с.

17. Кокорин, О.Я. Энергосберегающая технология функционирования систем вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха (систем ВОК) / О.Я. Кокорин. – М.: Проспект, 1999. – 206 с.

18. Моисеева, Н.К. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / Н.К. Моисеева, М.Г. Карпунин. – М.: Высшая школа, 1988. – 192 с.

19. Некротюк, А.В. Функционально-структурная модель системы местной вытяжной вентиляции рабочего места монтажника радиоаппаратуры / А.В. Некротюк, Е.В. Корепанов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 65–68.

20. Юдаев, Б.Н. Теплопередача / Б.Н. Юдаев. – М.: Высшая школа, 1981. – 319 с.

21. Эртель мл., Г. Путеводитель Прандтля по гидроаэродинамике: пер. с нем. / Г. Эртель мл. – Москва; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2007. – 776 с.

22. Цыганков, А.В. Оценка технико-экономических параметров проектного решения системы кондиционирования / А.В. Цыганков, А.В. Иванов, В.А. Леонтьева // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2015. – № 2. – С. 57–63.

23. Некротюк, А.В. Применение нейронных сетей для оптимизации системы микроклимата цеха монтажа радиоэлектронной аппаратуры / А.В. Некротюк, А.В. Палагин, Е.В. Корепанов // Глобальная научная интеграция. – 2013. – № 6. – С. 55–56.

24. Палагин, А.В. Управление системой тепло-холодоснабжения здания на альтернативных источниках энергии / А.В. Палагин, Е.В. Корепанов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 1. – С. 152–156.

Некродюк Андрей Васильевич, аспирант кафедры «Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (Ижевск), a.v.n.1@yandex.ru

Корепанов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование», Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова (Ижевск), evg-vit-korepanov@yandex.ru

Поступила в редакцию 9 сентября 2016 г.

DOI: 10.14529/build160408

THE STRUCTURE OF SYSTEM FOR PROVIDING MICROCLIMATE OF THE WORKPLACE OF ASSEMBLERS OF RADIO EQUIPMENT

A.V. Nekrotyuk, a.v.n.1@yandex.ru

E.V. Korepanov, evg-vit-korepanov@yandex.ru

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Described the structure of the assurance system of microclimate parameters of the workplace in the workshop. Assembly of electronic equipment. Developed functional and structural model of the air conditioning system of the shop. Described mathematical model of the regulation of microclimate parameters, energy-efficient system. According to the preliminary calculation of the velocity distribution of air flow in the working area of the calculated indicator of the comfort thermal sensation PMV. It is shown that the well-being of the installers is crucial when choosing constructive solutions local ventilation. Formulated the problem and challenges for future research on the creation of an effective system of provision of the microclimate, characterized by a large number of alternative solutions and a variety of diverse factors

Keywords: microclimate, thermal comfort, functional-structural model, mathematical modeling of ventilation, ventilation installation of radio equipment.

References

1. Baturin V.V. *Osnovy promyshlennoj ventiljacji* [Bases of Industrial Ventilation]. Moscow, Profizdat Publ., 1990. 448 p.
2. Molchanov B.S. *Proektirovanie promyshlennoj ventiljacji* [Design of Industrial Ventilation]. Leningrad, Stroyizdat Publ., Leningrad office, 1970. 239 p.
3. Kuvshinov Yu.Ya. *Teoreticheskie osnovy obespechenija mikroklimata pomeshhenija* [Theoretical Bases of Providing Microclimate of the Room]. Moscow, ASV Publ., 2007. 184 p.
4. Polosin I.I., Kuznetsov S.N., Portyannikov A.V., Derepasov A.V. [Creation of Effective Air Exchange for Rooms of Productions with Local Exhaust Ventilation with Use of Mathematical Model]. *Izvestiya KGASU*, 2009, no. 1, pp.191–195. (in Russ.).
5. Samarskaya Yu.G. [Improvement of Systems of Local Exhaust Ventilation with an Organized Suction from a Bunker Zone of Dust Removal Devices VZP]. *Internet messenger VolgGASU. Ser. Polythematic*, 2008, Vol.1(5). Available at: [www.vestnik.vgasu.ru/attachments/1\(5\)-3.3_2008.pdf](http://www.vestnik.vgasu.ru/attachments/1(5)-3.3_2008.pdf).
6. Nekrotyuk A. V., Korepanov E. V. [System Analysis of Means of Ensuring of Parameters of a Microclimate of a Workplace of the Assembler of the Radio-Electronic Equipment]. *Molodye uchenye – uskoreniju nauchno-tehnicheskogo progressa v XXI veke. [Jelektronnyj resurs]: jelektronnoe nauchnoe izdanie: sbornik trudov II Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii aspirantov, magistrantov i molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem* [Young Scientists – to Acceleration of Scientific and Technical Progress in the XXI Century. The Collection of Works II of the All-Russian Scientific and Technical Conference of Graduate Students, Undergraduates and Young Scientists with the International Participation, Izhevsk, on April 23–25, 2013]. Izhevsk, 2013, pp. 1361–1364. (in Russ.).
7. Panferov S.V. [Energy Saving Control System of Temperature Condition of the Heated Buildings]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2010, no. 33, pp. 42–46. (in Russ.).
8. Sotnikov A.G., Borovitskiy A.A. [Systematization and Synthesis of Characteristics of Local Exhaust Devices – a Basis of an Engineering Technique of Design of Effective Systems of Industrial Ventilation]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Civil Engineering Journal], 2012, no. 6, pp. 54–86. (in Russ.).
9. 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, no. 6, pp. 509–518. (in Russ.).

10. Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I., Legkonogikh A.N., Gaydenko A.L. [Mathematical and Computer Modeling of Formation of Parameters of the Production Environment for Design and Optimization of Systems of Ventilation of Rooms]. *Scientific journal "Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences"*, 2014, vol. 14, no. 2(77), pp. 46–55. (in Russ.).
11. Pozin G.M., Ulyasheva V.M., Kibort I.D. [To a Question of Application of Models of a Turbulentness at Numerical Modeling of Ventilating Processes]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2013, no. 10, pp. 48–56. (in Russ.).
12. Korepanov E.V. [Thermal Resistance to a Window Heat Transfer with a Selective Covering and Gas Filling]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy saving and water treatment], 2005, no. 6, pp. 59–62. (in Russ.).
13. Korepanov E.V. [Free Convection in Windows with a Double Glazing]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2005, no. 2, pp. 106–113. (in Russ.).
14. Korepanov E.V. *Matematicheskoe modelirovanie teploperedachi cherez naruzhnye steny zdaniy s oknami* [Mathematical Modeling of a Heat Transfer through External Walls of Buildings with Windows]. Izhevsk, Izd-vo IGTU Publ, 2011. 192 p.
15. Polushkin V.I., Rusak O.N., Burtsev S.I. *Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha. Ch. I. Teoreticheskie osnovy sozdaniya mikroklimata zdaniya* [Heating, Ventilation and Air Conditioning. Part. 1. Theoretical Bases of Creation of a Microclimate of the Building]. St. Petersburg, Professiya Publ, 2001, 176 p.
16. Kokorin O.Ya. *Sovremennye sistemy konditsionirovaniya vozdukha* [Modern Air Conditioning Systems]. Moscow, Fiziko-matematicheskaya Literatura Publ, 2003, 272 p.
17. Kokorin O.Ya. *Energoberegayushchaya tekhnologiya funktsionirovaniya sistem ventilyatsii, otopleniya, konditsionirovaniya vozdukha (sistem VOK)* [Energy Saving Technology of Functioning of Systems of Ventilation, Heating, Air Conditioning (WOK Systems)]. Moscow, Prospect Publ, 1999, 206 p.
18. Moiseeva N.K., Karpunin M.G. *Osnovy teorii i praktiki funktsional'no-stoimostnogo analiza* [Bases of the Theory and Practice of the Functional and Cost Analysis]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ, 1988, 192 p.
19. Nekrotyuk A.V., Korepanov E.V. [Functional and Structural Model of System of Local Exhaust Ventilation of a Workplace of the Assembler of Radio Equipment]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intelligent systems in manufacturing], 2015, no. 1, pp. 65–68. (in Russ.).
20. Yudaev B.N. *Teploperedacha* [Heat Transfer]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ, 1981, 319 p.
21. Ertl G. ml. *Putevoditel' Prandtlya po gidroaerodinamike* [Guide Prandtl on Aerohydrodynamics]. Moscow-Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i Khaoticheskaya Dinamika», Institut Komp'yuternykh Issledovaniy Publ., 2007. 776 p.
22. Tsygankov A.V., Ivanov A.V., Leont'eva V.A. [Assessment of Technical and Economic Parameters of the Design Solution of Central Air]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie* [Scientific Journal of St Petersburg State University of Low Temperature and Food Technologies: Refrigeration and Air Conditioning], 2015, no. 2, pp. 57–63. (in Russ.).
23. Nekrotyuk A.V., Palagin A.V., Korepanov E.V. [Application of Neural Networks for Optimization of System of a Microclimate of Shop of Installation of the Radio-electronic Equipment]. *Global'naya nauchnaya integratsiya* [Global scientific integration], 2013, no. 6, pp. 55–56. (in Russ.).
24. Palagin A.V., Korepanov E.V. [Management of Warm Cold Supply of the Building of System on Alternative Energy Sources]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intelligent systems in manufacturing], 2015, no. 1, pp. 152–156. (in Russ.).

Received 9 September 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Некротюк, А.В. Структура системы обеспечения микроклимата рабочего места монтажника радиоаппаратуры / А.В. Некротюк, Е.В. Корепанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 42–51. DOI: 10.14529/build160408

FOR CITATION

Nekrotyuk A.V., Korepanov E.V. The Structure of System for Providing Microclimate of the Workplace of Assemblers of Radio Equipment. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 4, pp. 42–51. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160408