

9. Bushe, N. A., and V. V. Kopytko. *Sovmestimost trushhihsja poverhnostej*. M.: Nauka, 1981.

10. Russian Federation. State Standart 23.224-86. Products wear resistance assurance. Reestablished machine parts. Experimental evaluation of wear resistance ability. M.: Standartinform, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Владимир Маркович —
доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
tribotex@narod.ru
Буцанец Артем Александрович —
начальник отдела НТИ и ИС.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
govorlivii@gmail.com
Безпальчук Сергей Николаевич — соискатель.
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
ualaes@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petrov Vladimir Markovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
tribotex@narod.ru
Butsanets Artem Aleksandrovich —
Head of Department of Scientific and Technical
Information and Intellectual Property
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
govorlivii@gmail.com
Bezpal'chuk Sergej Nikolaevich — applicant.
Peter the Great St.Petersburg
Polytechnic University
ualaes@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-129-139

УДК 629.12, 697.9

К. А. Васильев

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА УЧАСТКАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье приведен алгоритм, методология определения и расчета элементов системы вентиляции и кондиционирования с быстропеременным расходом воздуха на примере одной зоны производственного помещения — участка механической обработки заготовок из композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении. При обработке композиционных полимерных материалов выделяется большое количество вредных примесей, существенно меняется газовый состав в рабочей зоне, увеличивается риск выброса в окружающую среду вредных примесей от разрушения матрицы и армирующих волокон, поэтому достаточно актуальными являются исследования, посвященные вопросам защиты оператора и зоны промышленного помещений предприятий судостроительной отрасли от вредных выбросов, а также общему давлению на окружающую среду и снижению класса опасности производства.

Представленные технические решения, которые могут быть использованы на этапе проектирования, на базе современных комплексов предполагают выполнение заданных требований по штатной эксплуатации системы приточной вентиляции и кондиционирования рабочей зоны. Предлагается методологическое решение, соответствующее заданным требованиям технических норм подобных объектов эксплуатации. С целью повышения точности, быстродействия и энергоэффективности синтезирована система, объединяющая собственно вентиляцию, кондиционирование и количественное регулирование приточного воздуха, в том числе по процентному составу CO_2 . Приведен пример расчета вентиляционных параметров устройства и создана математическая модель объекта по газовой среде. Произведен анализ работы предложенной системы в программном пакете Matlab. Полученные в виде графиков и диаграмм результаты достаточно наглядно иллюстрируют протекающие переходные процессы вентиляции и кондиционирования воздуха на всех этапах и точно учитывают малейшие изменения газового состава и состава пылевоздушной смеси, образующейся в рабочей зоне у каждого обрабатываемого центра.

Ключевые слова: композит, углепластик, реактопласт, механическая обработка, производственный участок, вентиляция, кондиционирование, вредные факторы, моделирование, алгоритм, система управления.

Введение

При производстве современных судов различного типа и назначения широко используются новые композиционные полимерные материалы (КПМ) с разными видами матрицы (фенольные, эпоксидные или полимерные связующие) и армирующих элементов в каркасе (стекловолокно, угольное волокно и т. д.) [1] – [4].

В производственных помещениях механической обработки заготовок из КПМ существует множество факторов, которые вызывает быстрое изменение параметров воздушной среды [4] – [6]. Стандартные методики и центральные системы вентиляции и кондиционирования воздуха в силу ряда причин не способны обеспечить стабильность параметров воздуха в условиях повышенной запыленности, загазованности, агрессивности частиц пыли и продуктов деструкции композита в результате разрушения материала при механической обработке КПМ [4] – [6]. Поэтому актуальными являются научные исследования, посвященные вопросам автоматизации приточно-вытяжной вентиляции помещения с быстропеременным расходом воздуха, а также вредным выбросам, образующимся в процессе механической обработки КПМ. В соответствии с поставленной целью необходимо разработать алгоритм последовательного решения следующих задач:

- установить необходимые параметры воздуха в производственном помещении на участке механической обработки заготовок на современном оборудовании из композиционных полимерных материалов судостроительной отрасли — особенно по составу газовой среды и CO_2 в частности;
- сформулировать требования к приточно-вытяжной вентиляции и системе кондиционирования производственных помещений;
- разработать алгоритм работы системы приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования;
- провести математическое моделирование и расчеты отдельных элементов с использованием пакета прикладных программ.

Объект исследования

Объектом исследования является зона производственного цеха площадью 100 м^2 , в которой располагаются четыре станка типа «Обрабатывающий центр LEADWELL T7» (рис. 1). Предметом исследования является система автоматического управления (САУ) кондиционирования воздуха, работающая в оптимальном режиме. Практическая значимость исследования заключается в разработке САУ, обеспечивающей оптимальные параметры воздуха в помещении. Нормативной базой являются документы ГОСТ, СНиП, СанПин [7].

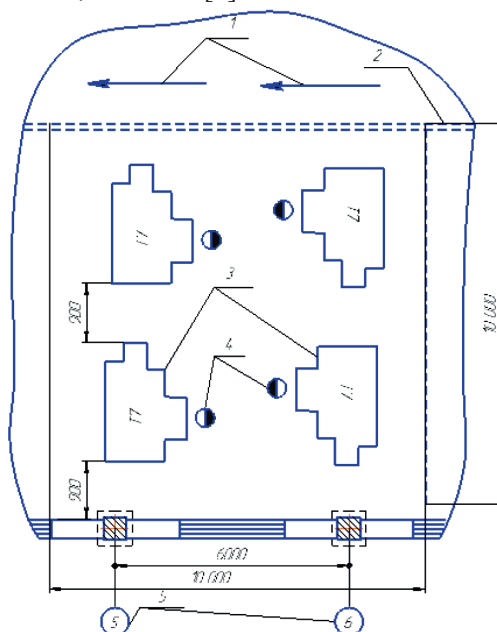


Рис. 1. План производственного участка механической обработки заготовок из композиционных материалов на токарных обрабатывающих центрах с числовым программным управлением LEADWELL T7:

- 1 — направление транспортных потоков по проходу; 2 — перегородка; 3 — станки T7;
4 — рабочее место оператора

Далее представлен алгоритм, разработанная математическая модель помещения и системы кондиционирования воздуха.

Исходные данные для исследования

Качество воздуха в производственном помещении определяется согласно ГОСТ 30494-2011 [8]. Необходимый воздухообмен в помещении может быть определен двумя способами: на основе удельных норм воздухообмена и на основе расчета воздухообмена, необходимого для обеспечения допустимых концентраций загрязняющих веществ. Конечно, система вентиляции может работать «на максимум» так, чтобы гарантировать нормальный уровень CO_2 (согласно действующим стандартам, до 2000 мг/м^3) и других вредных выделений, но такое решение проблемы качества воздуха является неэнергоэффективным.

Действительно, если в зоне помещения площадью 100 м^2 находятся пять человек, выполняющих легкую работу, то выделения CO_2 , согласно CEN CR 1752, составят

$$\text{CO}_{2\text{л}} = 50000 \cdot 5 = 250000 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \quad (1)$$

и для средней интенсивности

$$\text{CO}_{2\text{с}} = 100000 \cdot 5 = 500000 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3}. \quad (2)$$

Минимальный воздухообмен в помещении рассчитывается по формуле

$$L = \frac{m_{\text{po}}}{q_{\text{оз}} - q_n}, \quad (3)$$

где $q_{\text{оз}}$ — уровень вредных выделений в помещении; m_{po} — поступление вредных веществ в помещение; q_n — уровень вредных веществ в подаваемом воздухе (1000 мг/м^3 для больших городов). Тогда для работы с низкой интенсивностью он составит

$$L_{\text{н}} = \frac{250000}{2000 - 1000} = 250 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4)$$

и при средней интенсивности

$$L_{\text{с}} = \frac{500000}{2000 - 1000} = 500 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (5)$$

В процессе механической обработки резанием КПМ появляется ряд факторов, которые вызывают быстрое загрязнение воздуха непосредственно в рабочей зоне станка и в помещении механического участка. К подобным вредным выделениям можно отнести: паровыделения и газовыделения, пылевыведения, дымовыведения (аэрозоли), мельчайшие твердые частицы, свободно витающие в воздухе, тумановыведения — образование в воздухе мельчайших частиц той или иной жидкости (например, смазочно-охлаждающие жидкости с ультрадисперсной стружкой КПМ). Поэтому целью данной работы является разработка таких элементов системы общеобменной вентиляции, которые обеспечили бы требуемую температуру и качество воздуха в отдельных зонах (помещениях), затрачивая на достижение этой задачи минимальное количество энергии.

В данной статье рассмотрена именно общеобменная система вентиляции, а не укрытия и местные отсосы, так как они достаточно хорошо изучены и автоматизированы и представляют собой отдельный класс вентиляционных систем.

Моделирование исследуемого объекта и проверочный расчет

Для обеспечения требуемых оптимальных условий в обслуживаемой зоне (помещении) подается смесь приточного и рециркуляционного воздуха. В процессе смешения подаваемый воздух ассимилирует избыточное тепло, влагу и другие вредности. С точки зрения математического моделирования, синтез модели помещения представляет собой непростую задачу, так как параметры воздуха в помещении неоднородны. Рассредоточение вредностей в помещении определяется

фундаментальными уравнениями движения потока (непрерывности, энергии, переноса для распределения загрязнений) и тремя уравнениями количества движения (по высоте, длине и ширине помещения). Для их решения требуется масштабирование по времени. Локальная турбулентность приведена как переменный коэффициент диффузии, или турбулентная вязкость. Турбулентная вязкость определяется по двум уравнениям переноса: диссипации кинетической энергии турбулентности и кинетической энергии турбулентности. Следовательно, для решения поставленной задачи требуется найти корни восьми сдвоенных нелинейных дифференциальных уравнений. Эти уравнения состоят из производных первой и второй степени, выражающих конвекцию, диффузию и источник с переменным потоком загрязняющих веществ.

Дифференциальные уравнения воздухообмена в помещении решить аналитически не представляется возможным, поэтому, с целью упрощения задачи, рассмотрим параметры воздуха в рабочей зоне, т. е. там, где установлены датчики. Обслуживаемую зону (помещение) можно представить как объект, на который оказывают влияние внешние (н) и внутренние (пом) возмущающие воздействия (рис. 2): W — влажность; Q — теплоизбытки; G — газы. Входными параметрами тогда будут: $d_{пр}$, $t_{пр}$ и $G_{пр}$, и соответственно, регулируемые: $t_{пом}$, $d_{пом}$, $G_{пом}$. Как правило, значительно изменяется только температура и качество воздуха, а влажность остается в пределах допустимых значений.

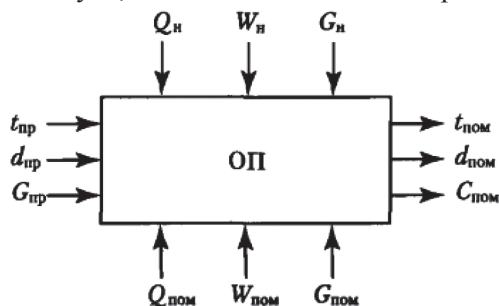


Рис. 2. Обслуживаемая зона помещения

Тогда динамические свойства объекта будут зависеть от коэффициента K_v — кратности воздухообмена (определяется размерами помещения и общей площадью стен), коэффициентов l_v — теплоемкости, $K_{огр}$ — теплопереноса ограждений и $T_{огр}$ — постоянной времени ограждения. Передаточная функция по каналу температуры подаваемого воздуха получена в виде

$$W_{пом}(p) = \frac{(T_{огр}p + 1)K_{пом}}{T_{пом}p + 1}, \quad (6)$$

где $K_{пом}$ и $T_{огр}$ определяются по показателям K_v , l_v , $K_{огр}$, теплопроводности C_v и плотности P_v воздуха; $T_{пом}$ — постоянная времени помещения.

Анализ переходного процесса, проведенный на основании математической модели (рис. 3, кривая 1) и эксперимента (рис. 3, кривая 2), показал, что температура в помещении меняется в два этапа. На этапе *A* температура изменяется быстро, при этом скорость изменения температуры обратно пропорциональна кратности воздухообмена $3 - 4 K_v$. На этапе *B* изменение температуры воздуха существенно замедляется, так как стены помещения обладают большой теплоемкостью.

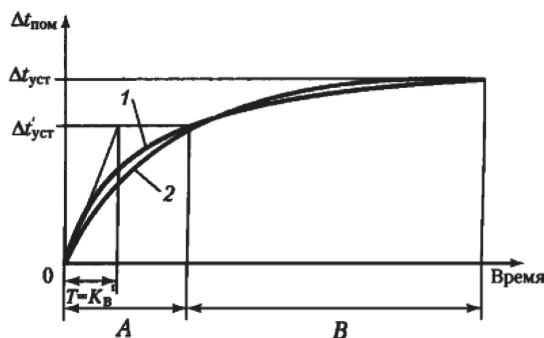


Рис. 3. Переходный процесс параметров воздуха в производственных помещениях, по данным работы [9]

Поэтому инерционностью ограждений можно пренебречь. Входящим воздействием будет Q — тепло, Вт, а выходом — отклонение температуры $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Тогда дифференциальное уравнение для исследуемого помещения

$$V \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}} \frac{d\Delta\epsilon}{dt} = \Delta Q_{\text{пр}} - \Delta T_3, \quad (7)$$

где $\Delta\epsilon$ — отклонение температуры; $\Delta Q_{\text{пр}}$ — тепло приточного воздуха (не зависит от помещения); ΔT_3 — температура зоны (изменяемая величина в течение рабочей смены).

Температура рабочей зоны может быть определена зависимостью $\Delta T_3 = K_{\epsilon} \Delta\epsilon$, где коэффициент K_{ϵ} можно вычислить по формуле

$$K_{\epsilon} = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}} \cdot q. \quad (8)$$

Перенесем ΔT_3 в левую часть уравнения (7) и разделим на K_{ϵ} , тогда получим выражение

$$\frac{V \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}}}{K_{\epsilon}} \frac{d\Delta\epsilon}{dt} + \Delta\epsilon = \frac{\Delta Q_{\text{пр}}}{K_{\epsilon}}. \quad (9)$$

Постоянная времени (зависит от типа помещения):

$$T_{\text{пом}} = \frac{V \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}}}{K_{\epsilon}}. \quad (10)$$

Коэффициент усиления (зависит от типа помещения):

$$K_{\text{пом}} = \frac{1}{K_{\epsilon}}. \quad (11)$$

Представим функцию (6) температуры подаваемого воздуха по каналу аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{пом}}(p) = \frac{K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}} p + 1}, \quad (12)$$

где коэффициент $K_{\text{пом}}$ и постоянная $T_{\text{пом.Т}}$ находятся из выражений:

$$K_{\text{пом.Т}} = \frac{1}{G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}} \cdot q} = \frac{1}{2,49 \cdot 1,2 \cdot 1,025 \cdot 0,24} = 1,36; \quad (13)$$

$$T_{\text{пом}} \sim K_{\text{в}}^{-1} = \frac{V \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}}}{G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} p_{\text{в}} \cdot q} = \frac{500}{2,49 \cdot 0,24} = 836 \text{ с}, \quad (14)$$

где $G_{\text{в}}$ — расход воздуха $\text{м}^3/\text{с}$; $c_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воздуха, $\text{КДж}/\text{кг} \cdot \text{с}$; p — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; V — объем помещения, м^3 ; q — показатель теплообмена по поверхностям $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ (примем $q = 0,24$).

Процесс изменения качества воздуха в помещении также представим аperiodическим звеном первого порядка

$$W_{\text{пом}}(p) = \frac{K_{\text{пом}}}{T_{\text{пом}} p + 1}. \quad (15)$$

Входящим воздействием будет CO_2 — вредные выделения, $\text{ppm}/\text{с}$, а выходом — отклонение качества воздуха ΔCO_2 ppm . Значение коэффициента $K_{\text{пом}}$ можно определить как отношение входящей величины к выходящей и характеризуется коэффициентами $K_{\text{пом}} = 511/71 = 7,25$ и $T_{\text{пом}} = K_{\text{в}}^{-1} = 200$ (с), которые остаются неизменными.

Действительно, такое упрощение не оказывает значительного влияния на расчет рассредоточенных параметров воздуха в помещении, учитывая быстрое перемещение воздушных масс под действием гравитационных и тепловых воздействий и расположение воздухопритока и воздухозабора в промышленном помещении (рис. 4).

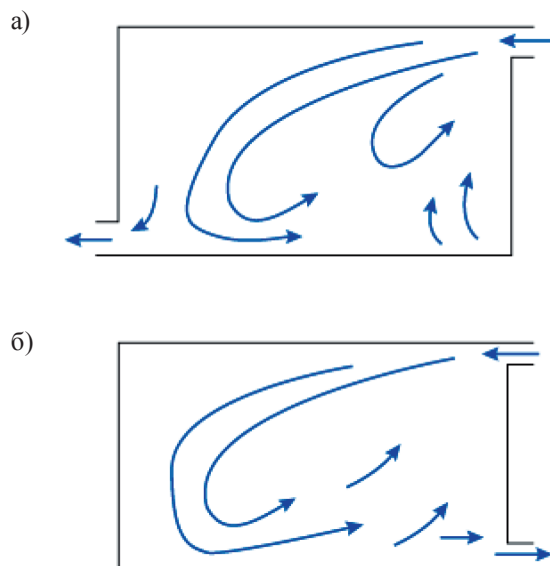


Рис. 4. Схема вентиляции производственного помещения по данным работы [10]:
а — с перекрестными потоками воздуха; б — с круговыми потоками воздуха

Исследуемая система по каналу CO_2

Цель синтеза системы по каналу CO_2 — обеспечить необходимую точность поддержания параметра ppm в помещении (рис. 5). Допустимое отклонение температуры от уставки примем равным $\varepsilon = 10$ (ppm).

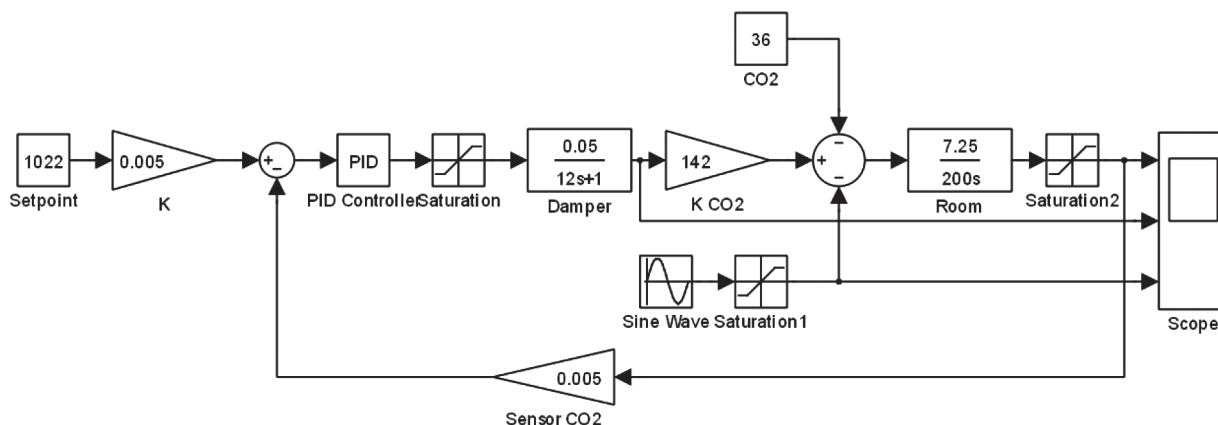


Рис. 5. Функциональная схема системы кондиционирования и вентиляции с учетом современных блоков и комплектующих

Блок Setpoint — уставка требуемого содержания CO_2 в помещении. Согласно СНиП, это значение должно быть не выше 2000 мг/м^3 , что в пересчете в единицы ppm будет равным $S = 2000 \cdot 0,511 = 1022 \text{ ppm}$. Damper — воздушная заслонка. Сигнал с PID-регулятора на заслонку ограничен до $U_{\text{макс}} = 10$ (В) блоком Saturation. Для определения содержания CO_2 в приточном воздухе используется блок $K \text{ CO}_2$, значение которого определяется из отношения максимального потока воздуха через заслонку $G_{\text{пр}}$ к количеству вредных в уличном воздухе. Блоки Room и Integrator представляют собой модель помещения. Производительность вентилятора не влияет на скорость приточного воздуха, поэтому он отсутствует на схеме.

Построим переходный процесс в разомкнутой системе по каналу CO_2 . Время переходного процесса $T_{\text{пн}} = 137 \text{ с}$ (рис. 6).

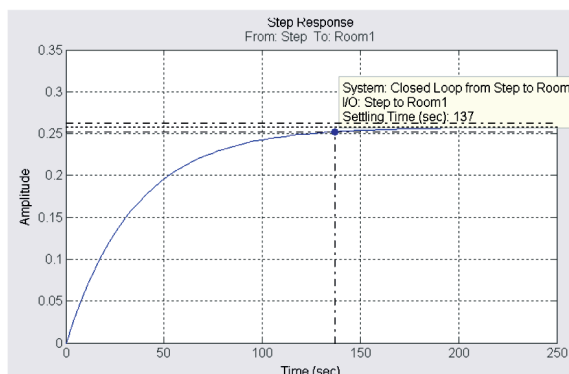


Рис. 6. Диаграмма, характеризующая переходный процесс в разомкнутой системе по каналу CO₂

Построим карту нулей и полюсов замкнутой системы (рис. 7). Всего имеется один полюс: $-0,0286$. Система устойчива.

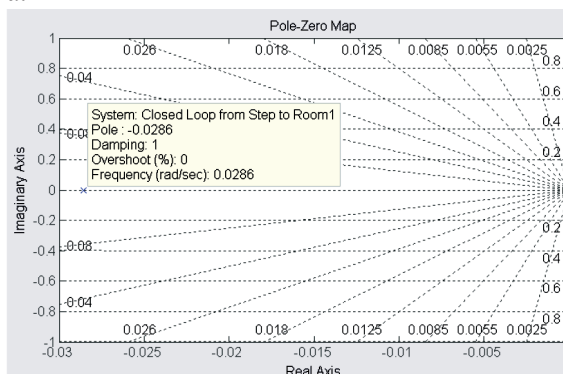


Рис. 7. Карта, характеризующая положение нулей и полюсов

Поскольку система содержит интегрирующее звено (комната — производственное помещение), произведем расчет согласно известным настройкам ПД-регулятора. Дифференциальная составляющая отсутствует, поэтому рассчитаем только пропорциональный коэффициент

$$K(\text{per}) = \frac{T_{\text{ком}}}{K_{\text{засл}} \cdot K_{\text{дат}} \cdot K_{\text{ком}} \cdot a \cdot T_{\text{засл}}} = \frac{200}{0,5 \cdot 0,005 \cdot 7,25 \cdot 4 \cdot 12} = 230. \quad (16)$$

Рассмотрим исходную аналоговую систему как часть цифровой в пакете Matlab (рис. 8).

Transfer function

$$\frac{0,009556z + 0,009477}{z^2 - 1,956z + 0,9753}$$

Sampling time

$$0.3$$

(17)

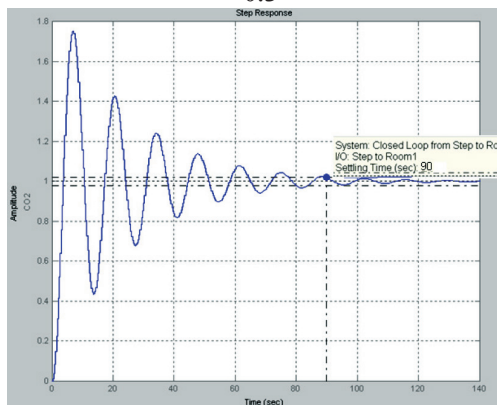


Рис. 8. Вид диаграммы после цифровой обработки

Найдем корни характеристического уравнения замкнутой цифровой системы:

$$A = [1, -1,956, 0,9753]; \gg r = \text{roots}(A);$$

$$r = 0,9780 + 0,1372i; 0,9780 - 0,1372i. \quad (18)$$

Вещественные части комплексных корней меньше единицы. Система устойчива с минимальным запасом устойчивости.

Блоки CO₂ и Sin Wave представляют собой возмущающее воздействие. Согласно расчетам, постоянное поступление CO₂ в производственное помещение можно найти по формуле

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_{2л} \cdot 0,511}{3600} = \frac{250000 \cdot 0,511}{3600} = 36 \frac{\text{ppm}}{\text{с}}. \quad (19)$$

Неравномерное поступление CO₂ при увеличении интенсивности работы можно представить возмущением вида $F(t) = A \sin \omega t$, максимальная амплитуда которого будет равна

$$\text{CO}_2 = \frac{(\text{CO}_{2\text{ср}} - \text{CO}_{2л}) \cdot 0,511}{3600} = \frac{(5 - 2,5)10^5 \cdot 0,511}{3600} = 35 \frac{\text{ppm}}{\text{с}}. \quad (20)$$

Проведем исследования динамики системы, изменяя параметр ω . Результаты исследования сведены в таблицу.

**Влияние периода колебаний возмущающего воздействия
на точность поддержания качества воздуха**

ω , рад/с	0,00001	0,0001	0,001	0,005	0,01	0,0175	0,025	0,5
ε , 0С	1	1,1	1,2	1,4	1,6	2	3	6

Графическое отображение зависимости отклонения CO₂ от уставки (ε) от частоты возмущения (ω) представлено на (рис. 9). Максимальное отклонение $\varepsilon = 6$ (ppm) наблюдается при частоте колебаний менее 2 мин. Очевидно, что колебания такой амплитуды с частотой 2 мин невозможны. Это значит, что система соответствует заданным требованиям (допустимое отклонение $\varepsilon = 10$ (ppm)).

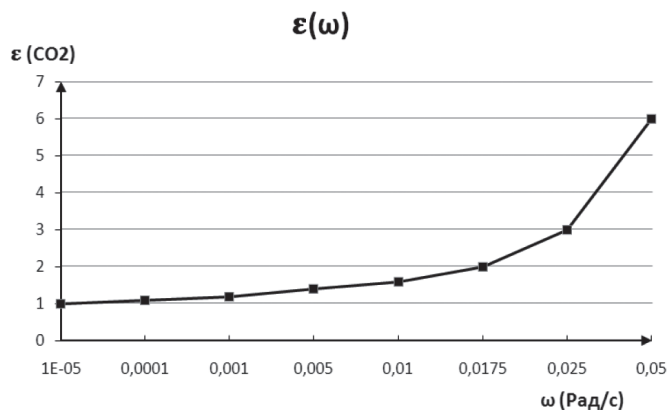


Рис. 9. Отклонение качества воздуха (ppm)

Рассмотрим влияние возмущения (вредных выделений, ppm) на открытие клапана заслонки (Damper) — рис. 10. Из приведенного графика ясно, что увеличение количества выделений приводит к открытию заслонки. Таким образом, реализуется контроль качества воздуха в помещении, а, значит, уменьшается производительность приточного вентилятора центральной СКВ. Быстро изменяемые параметры воздуха в помещении не влияют на устойчивость системы и точность их регулирования.

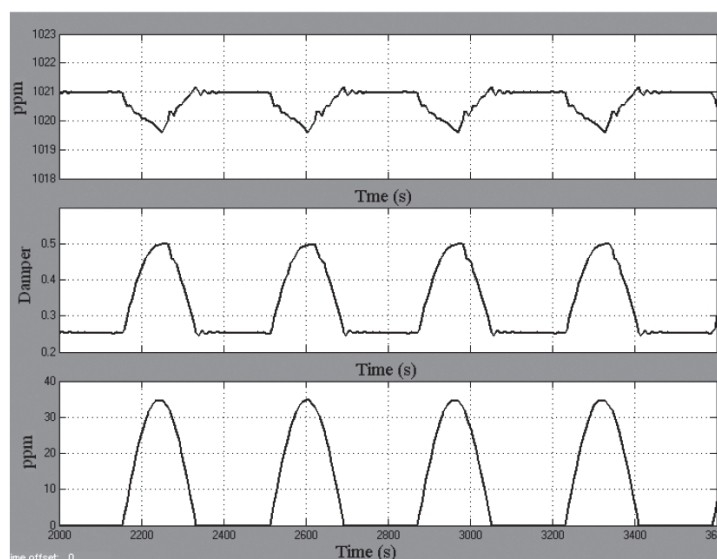


Рис. 10. Влияние возмущения на открытие клапана заслонки (сверху вниз): отклонение (ppm), пропускная способность заслонки (0 – 0,5 м³/с), возмущение (ppm)

Заключение

Стандартные центральные системы кондиционирования воздуха в силу ряда причин, которые рассмотрены в этой статье, не способны обеспечить стабильность параметров воздуха в производственном помещении, поэтому осуществлена попытка разработки алгоритма автоматизация приточно-вытяжной вентиляции помещения с быстропеременным расходом воздуха. При этом решены следующие задачи:

- определены необходимые параметры воздуха в производственном помещении согласно действующим нормам и правилам [7];
- по результатам исследования необходимых параметров воздуха в производственном помещении были сформулированы требования к приточно-вытяжной вентиляции производственных помещений: быстроедействие, точность поддержания параметров воздуха в помещении и экономичность;
- найдено техническое решение, отвечающее заданным требованиям, которое заключается в интеграции вентиляции, кондиционирования (рециркуляции) в единое устройство. Составлена функциональная схема предлагаемого решения, которая подтверждает возможность смешения приточного и рециркуляционного воздуха. Интеграция позволяет синхронизировать работу систем вентиляции и кондиционирования. Как результат — повышается комфорт в обслуживаемом помещении и снижаются затраты на создание нужного микроклимата;

Данные предположения были подтверждены путем исследования синтезированной системы в программном пакете Matlab. Получены следующие результаты: $T_{\text{пп}} = 1220$ с, максимальное отклонение температуры $\varepsilon_T = 0,4$ °C, максимальное отклонение качества воздуха $\varepsilon_{\text{CO}_2} = 6$ ppm.

При раздельных системах вентиляции и кондиционирования достигнуть таких результатов невозможно, так как скорость воздуха на выходе приточной вентиляции на несколько порядков меньше, чем скорость воздуха на выходе из кондиционера, поэтому процессы воздухообмена в помещении будут зависеть от взаимного размещения средств вентиляции и средств кондиционирования. По мере их удаления друг от друга увеличивается постоянная времени по качеству воздуха, которая будет зависеть от кратности воздухообмена вентиляции (в нашем случае — однократный, т. е. один раз в час). Тогда как интеграция вентиляции и кондиционирования (рециркуляции) способствует значительному повышению точности поддержания качества воздуха, поскольку постоянная времени по качеству воздуха определяется высокой кратностью воздухообмена рециркуляции (10 и более кратный).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булкин В. А. Применение перспективных композиционных материалов в надводном судостроении / В. А. Булкин, Н. Н. Федонюк, А. В. Шляхтенко // Морской вестник. — 2013. — № 1. — С. 7–8.
2. Бальчюнас А. С. Краткий обзор использования композиционных материалов при строительстве кораблей и элементов их конструкций / А. С. Бальчюнас // Научные исследования: от теории к практике. — 2016. — № 1 (7). — С. 146–147.
3. Анисимов А. В. Современные машиностроительные материалы. Неметаллические материалы: справ. / А. В. Анисимов, В. Е. Бахарева, И. В. Блышко [и др.]; под общ. ред. И. В. Горынина, А. С. Орыщенко. — СПб.: НПО «Профессинал», 2012. — 916 с.
4. Васильев К. А. Повышение эффективности работы системы местной вентиляции при механической обработке композиционных полимерных материалов, применяемых в современном судостроении / К. А. Васильев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 64–74. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-5-64-74.
5. Волков В. А. Сбережение энергии в системах вентиляции за счет внутренней очистки и перераспределения воздуха / В. А. Волков // VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: тез. докл. — М.: Изд-во МЭИ, 2001. — Т. 3. — С. 50–51.
6. Воскресенский В. Е. Системы пневмотранспорта, пылеулавливания и вентиляции на деревообрабатывающих предприятиях. Теория и практика: учеб. пособие: в 2 т. / В. Е. Воскресенский. — СПб.: Политехника, 2009. — Т. 2. — Ч. 1. Системы пылеулавливания. — 304 с.
7. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.). — М.: Минздрав России, 2001. — 20 с.
8. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. — М.: Стандартинформ, 2013. — 12 с.
9. Бондарь Е. С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич. — Киев: Аванпост-Прим, 2005. — 560 с.
10. Руководство по проектированию эффективной вентиляции (рабочая версия): пер. с англ. Л. И. Баранова // АВОК. — 2003. — № 3. — С. 20.

SIMULATION OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN AREAS OF MACHINING OF COMPOSITE MATERIALS SHIPBUILDING PRODUCTION

The article presents the algorithm of the methodology and calculation of elements of system of ventilation and air conditioning systems with rapidly varying air flow in one zone of production facilities – phase mechanical machining of composite polymeric materials used in modern shipbuilding. In the processing of polymer materials produces a large amount of harmful impurities significantly changes the gas composition in the working area and increases the risk of emission of harmful impurities from the destruction of the matrix and reinforcing fibers into the environment. Therefore, quite relevant questions of protection of the operator and the area of the industrial premises of the enterprises of the shipbuilding industry from harmful emissions, as well as the overall pressure on the environment and reduce the hazard class of production.

Presented technical solutions at the stage of elaboration and the implementation of algorithms based on modern components assume performance of the specified requirements for normal operation of ventilation systems and conditioning of the working area.

In addition, the article propose a methodological solution matches the requirements of the technical standards of such facilities operation. With the aim of improving the accuracy, speed and efficiency, the integrated system that combines proper ventilation, air conditioning and a quantitative regulation of intake air, including the percentage composition of CO₂. The example of calculation of ventilation parameters of the device and the mathematical model of the object in a gaseous environment. The analysis of the proposed system in the software package Matlab. The results obtained in the form of graphs and charts quite clearly illustrate the occurring transient processes of ventilation and air-conditioning in all stages and tailored exactly to the slightest changes in the gas composition and the composition of the dust-air mixture formed in the working area of each machining center.

Keywords: composite, carbon fiber, thermoset, tooling, the production area ventilation, air-conditioning, hazards, simulation, algorithm, control system.

REFERENCES

1. Bulkin, V. A., N. N. Fedonjuk, and A. V. Shljahtenko. "Primenenie perspektivnyh kompozicionnyh materialov v nadvodnom sudostroenii." *Morskoy vestnik* 1 (2013): 7–8.
2. Balchjunas, A. S. "Kratkij obzor ispolzovanija kompozicionnyh materialov pri stroitelstve korablej i jelementov ih konstrukcij." *Nauchnye issledovanija: ot teorii k praktike* 1(7) (2016): 146–147.
3. Anisimov, A. V., V. E. Bahareva, I. V. Blyshko, et al. *Sovremennye mashinostroitelnye materialy. Nemetallicheskie materialy: sprav.* Edited by I. V. Gorynin, A. S. Oryshhenko. SPb.: NPO «Professinal», 2012.
4. Vasilev, K. A. "Improve the effectiveness of the system of local ventilation during mechanical processing of polymer materials used in modern shipbuilding." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(27) (2014): 64–74. DOI: 10.21821/2309-5180-2014-6-5-64-74.
5. Volkov, V. A. "Sberezhenie jenergii v sistemah ventiljacii za schet vnutrennej ochistki i pereraspredelenija vozduha." *Vosmaja Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. studentov i aspirantov «Radioelektronika, elektrotehnika i jenergetika»: tez. dokl.* M.: MJeI, 2001. Vol. 3. Pp. 50–51.
6. Voskresenskij, V. E. *Sistemy pnevmotransporta, pylaulavlivanija i ventiljacii na derevoobrabatyvajushhih predpriyatijah. Teorija i praktika. Uchebnoe posobie: v 2-h tomah. Tom 2. Chast 1: Sistemy pylaulavlivanija.* SPb.: Politehnika, 2009.
7. Russian Federation. Sanitary rules and norms 2.2.4.548-96. Hygienic Requirements to occupational microclimate. M.: Minzdrav Rossii, 2001.
8. Russian Federation. State Standard 30494-2011. Zdanija zhilye i obshhestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshhenijah. M.: Standartinform, 2013.
9. Bondar, E. S., A. S. Gordienko, V. A. Mihajlov, and G. V. Nimich. *Avtomatizacija sistem ventiljacii i kondicionirovanija vozduha.* Kiev: Avanpost-Prim, 2005.
10. Baranov, L. I., translator. "Rukovodstvo po proektirovaniju jeffektivnoj ventiljacii (rabochaja versija)." *AVOK* 3 (2003): 20.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Васильев Кирилл Александрович — аспирант.
Научный руководитель:
Дация Тамара Александровна —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»
kirrrrrill@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vasilev Kirill Aleksandrovich — postgraduate.
Supervisor:
Datsjuk Tamara Aleksandrovna —
Dr. of Technical Sciences, professor.
SPSUACE
kirrrrrill@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2016 г.