

УДК 504.3.054

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

© 2023 А.В. Тарасов¹, Д.Е. Иванов^{1,*}, Т.Н. Швецова-Шиловская¹, Р.А. Хрусталёв¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии» (ФГУП «ГосНИИОХТ»)
ГНЦ РФ, Москва, 111024, Россия
e-mail: dir@gosniiocht.ru

Поступила в редакцию: 17.05.2023

После доработки: 19.05.2023

Принята к публикации: 08.06.2023

В статье представлено описание системы мониторинга воздушной среды офисных помещений, предназначенной для оценки качества воздуха. Актуальность задачи создания систем мониторинга качества воздуха обусловлена тем, что воздушная среда, загрязненная вредными химическими веществами, может оказывать на человека негативное воздействие. Разработанная система включает информационно-измерительный и информационно-аналитический блоки, отвечающие определенным требованиям, таким как чувствительность, селективность, быстродействие и компактность. Основной задачей информационно-измерительного модуля является обнаружение и идентификация вредных химических веществ. Назначение информационно-измерительного модуля – определение концентрационных, скоростных и температурных полей, в любой момент времени, в любой точке помещения. Апробация разработанной системы проведена на основе экспериментальных исследований. В качестве загрязняющего вещества выбран бутилацетат. Источник загрязнения располагался вблизи системы вентиляции. Моделирование распространения загрязняющего вещества в помещении выполнено в программном комплексе Solidworks 2020. Получено распределение концентрации бутилацетата в офисном помещении на уровне слоя дыхания человека с учетом расположения источника загрязнения и рабочего места, а также с учетом времени года. Определены значения концентраций бутилацетата в различные моменты времени на рабочем месте сотрудника. Результаты моделирования показали, что в летний период времени за счет незначительной разницы температур наружного и внутреннего воздуха концентрация бутилацетата на рабочем месте сотрудника достигает предельно допустимых значений значительно быстрее, чем в зимний период.

Ключевые слова: система мониторинга, офисное помещение, загрязнение воздушной среды, вредные химические вещества, математическое моделирование.

DOI: 10.26583/vestnik.2023.248

ВВЕДЕНИЕ

Воздух является основной средой, окружающей человека. Поэтому загрязненный вредными химическими веществами промышленного или бытового назначения воздух оказывает на человека негативное воздействие [1–3]. Для оценки качества воздушной среды используются различные классы газоанализаторов, позволяющих контролировать концентрации загрязняющих веществ. При гигиенической оценке качества воздуха учитываются его физические свойства, такие как температура, давление, влажность, скорость движения и т.д. [4–6].

Применение в промышленности и быту различных загрязняющих веществ (в том числе вредных химических веществ, далее – ВХВ) предъявляет требования к точности идентифи-

кации концентраций ВХВ в широком диапазоне температур, давлений и влажностей.

Одним из путей решения проблемы экологической безопасности воздушной среды рабочих помещений и атмосферного воздуха является проектирование и создание современных систем мониторинга. В данной работе представлена система мониторинга качества воздушной среды офисных помещений, а также результаты экспериментальных исследований идентификации ВХВ с использованием разработанной системы.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Анализ существующих систем, приборов и устройств информационно-аналитического обеспечения по оценке качества воздушной среды показал, что такие системы, как правило,

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

включают информационно-измерительный и информационно-аналитический блоки, к каждому из которых предъявляются определенные требования, такие как чувствительность, селективность, быстродействие, компактность и т.д. [7–9].

На основании проведенного анализа разработана система мониторинга воздушной среды офисного помещения, блок-схема которой представлена на рис. 1.

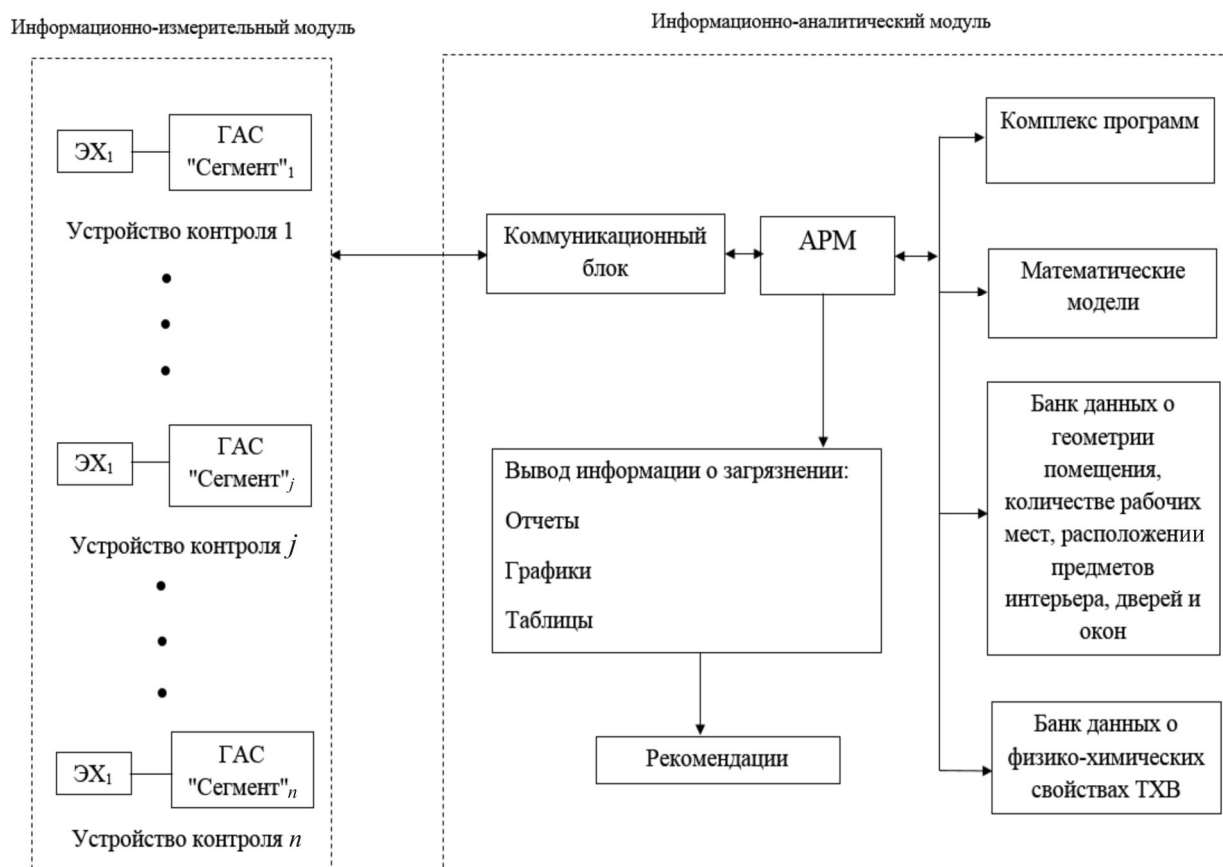


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга воздушной среды офисного помещения

Система мониторинга воздушной среды включает два основных модуля: информационно-измерительный и информационно-аналитический.

Информационно-измерительный модуль

Основной задачей информационно-измерительного модуля (далее – ИИМ) является обнаружение и идентификация ВХВ.

ИИМ состоит из электрохимических (далее – ЭХ) датчиков «СИГМА-03» и стационарных газоанализаторов «Сегмент» (далее – ГАС), обладающих высокой селективностью и возможностью расширения базы обнаруживаемых веществ (количество необходимых технических средств определяется геометрией помещения и физико-химическими свойствами ВХВ).

Электрохимический датчик «СИГМА-03» представляет собой стационарный одноканаль-

ный прибор для непрерывного контроля концентрации ВХВ в воздушной среде помещения. Результатом работы «СИГМА-03» является фиксация наличия в помещении загрязняющих веществ. Основными преимуществами «СИГМА-03» являются модульность, компактность, простота сборки при использовании в составе ИИМ.

ГАС «Сегмент», принцип действия которого основан на спектрометрии ионной подвижности, идентифицирует ВХВ в воздушной среде помещения. Он содержит базу данных о пороговых значениях концентраций ВХВ и их смесей, включающую до 20 значений. База данных ГАС может редактироваться путем изменения количества и видов загрязняющих веществ.

Основными характеристиками ГАС «Сегмент» являются следующие: время выхода на рабочий режим – не более 15 мин и время опре-

деления пороговых значений ВХВ – не более 5 с.

ГАС «Сегмент» включает программное обеспечение ПО IMS WedUI, которое позволяет с помощью коммуникационного блока визуализировать на мониторе автоматизированного рабочего места (далее – АРМ) оператора область загрязнения в помещении.

Результатом работы ГАС «Сегмент» является идентификация ВХВ и регистрация спектра во внутренней памяти газоанализатора, далее информация поступает на АРМ.

Информационно-аналитический модуль

В состав информационно-аналитического модуля (далее – ИАМ) входят следующие блоки: банк данных о характеристиках помещения, банк данных о свойствах ВХВ, математические модели, комплекс программ.

Банк данных о характеристиках помещения содержит информацию о геометрии помещения и расположении дверей, окон, предметов интерьера, количестве рабочих мест и, соответственно, количестве персонала, работающего в данном помещении.

Банк данных о свойствах ВХВ включает: перечень вредных химических веществ, их основные физико-химические свойства, данные по токсичности и т.д.

Математические модели включают модели свободно-конвективного тепломассопереноса в замкнутых областях, которые позволяют визуализировать на мониторе АРМ температурные, скоростные и концентрационные поля распределения ВХВ в воздушной среде офисного помещения.

Комплекс программ включает два программных обеспечения (далее – ПО): IMS WebUI и Solidworks 2020 с дополнением Flow Simulation.

ПО IMS WebUI предназначено для сбора информации, поступающей с ИИМ, и визуализации полученных данных на АРМ оператора. Такими данными являются: техническое состояние «СИГМА-03» и ГАС «Сегмент», информация о идентификации ВХВ.

Рабочая среда ПО Solidworks 2020 позволяет оператору АРМ создать геометрическую модель помещения, построить математическую модель гидрогазодинамики на основании уравнения Навье–Стокса для исследования процессов тепломассопереноса.

Оператору системы на экране монитора АРМ отображается место размещения технических средств ИИМ в помещении и идентифициро-

ванное ВХВ. При обнаружении в помещении загрязняющих веществ оператор АРМ обращается к блоку «Комплекс программ» для моделирования концентрационных, температурных и скоростных полей в помещении. На основании результатов математического моделирования оператор АРМ принимает решение о проведении мероприятий, направленных на обеспечение безопасности воздушной среды офисного помещения.

На автоматизированном рабочем месте оператор системы осуществляет управление работой как информационно-измерительного, так и информационно-аналитического модулей.

Результатом работы ИАМ является определение концентрационных, скоростных и температурных полей в любой момент времени, в любой точке помещения.

Продемонстрируем работоспособность системы на основе результатов экспериментальных исследований мониторинга воздушной среды типового офисного помещения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве модельного примера рассмотрим климатическую камеру объемом 2 м^3 , в которой поддерживается постоянная температура 25°C . Перемешивание воздуха в камере обеспечивается с помощью насоса. После выхода климатической камеры на режим (в течение 1 ч), в ней размещали информационно-измерительный модуль на специализированной подставке и с помощью LAN-кабеля соединяли технические средства с управляющей станцией (АРМ).

В качестве модельного вещества был выбран бутилацетат, который применяется как:

- душистое вещество, входящее в состав парфюмерных композиций и фруктовых эссенций;
- дубильное вещество в кожевенной промышленности;

- средство для выделения первичных субстанций в фармацевтической промышленности;

- растворитель для эффективного получения лакокрасочных покрытий.

Принимая это во внимание, существует вероятность нахождения н-бутилацетата в воздушной среде офисных помещений. Значение предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны (далее – ПДК_{рз}) для данного соединения составляет 50 мг/м^3 .

В камеру с помощью специального устройства вносили бутилацетат.

На рис. 2 представлен спектр воздушной среды в камере до внесения вещества, полученный с помощью ГАС «Сегмент».

На рис. 3 представлен спектр воздушной среды в камере после внесения бутилацетата, соответствующий его концентрации на уровне

0.1 ПДК_{рз}, где показан отклик прибора на внесенное соединение через 1 мин.

На экране монитора АРМ оператора фиксировалась информация о внесенном бутилацетате (вид вещества и его концентрация). Рабочее окно программы IMS WebUI представлено на рис. 4 в виде информационной карточки.

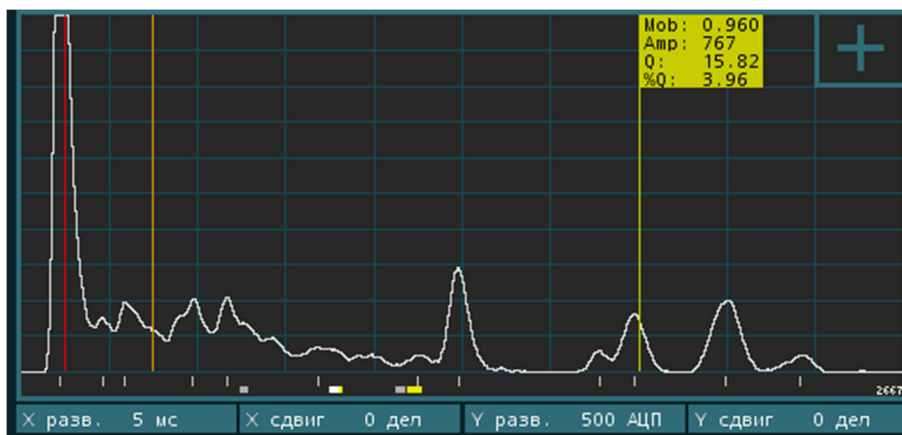


Рис. 2. Спектр воздушной среды камеры до внесения бутилацетата

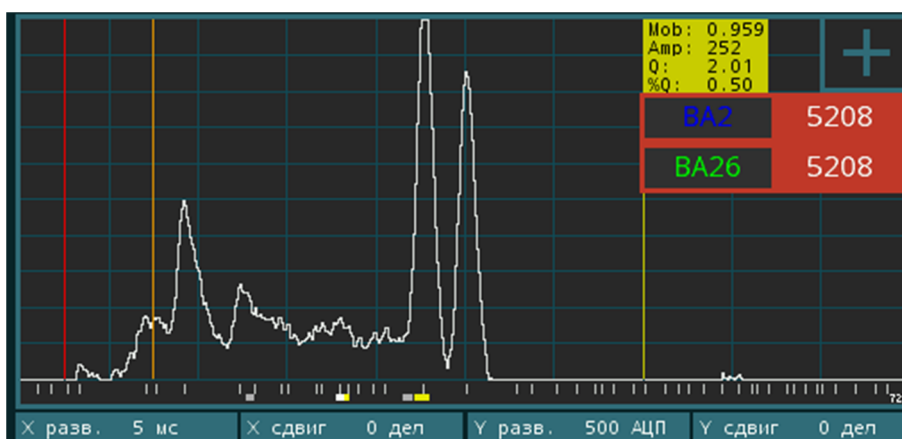


Рис. 3. Спектр воздушной среды камеры после внесения бутилацетата

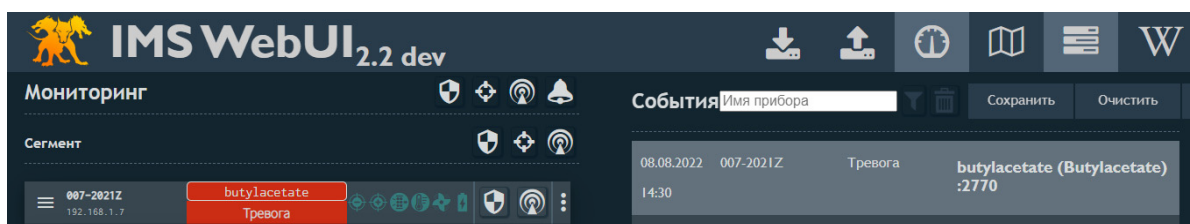


Рис. 4. Рабочее окно ПО IMS WebUI

С помощью ПО Solidworks 2020 была задана геометрия помещения, расставлены предметы интерьера для типового офисного помещения.

Предварительно в типовом офисном помещении провели экспериментальное исследование по определению температуры воздуха в летний и зимний периоды. В ходе опытов исследовалось пространственное изменение тем-

пературы в зависимости от работы систем отопления, вентиляции и окон.

Результаты экспериментальных исследований являлись исходными данными при проведении расчета в программном комплексе Solidworks 2020 для определения концентрационных полей распределения бутилацетата в воздушной среде помещения (рис. 5, а,б).

На рис. 5,а представлено распределение расчетного поля концентраций загрязняющего вещества в офисном помещении при условии

расположения источника загрязнения вблизи системы естественной вентиляции для зимнего периода через 30 и 240 секунд, соответственно.

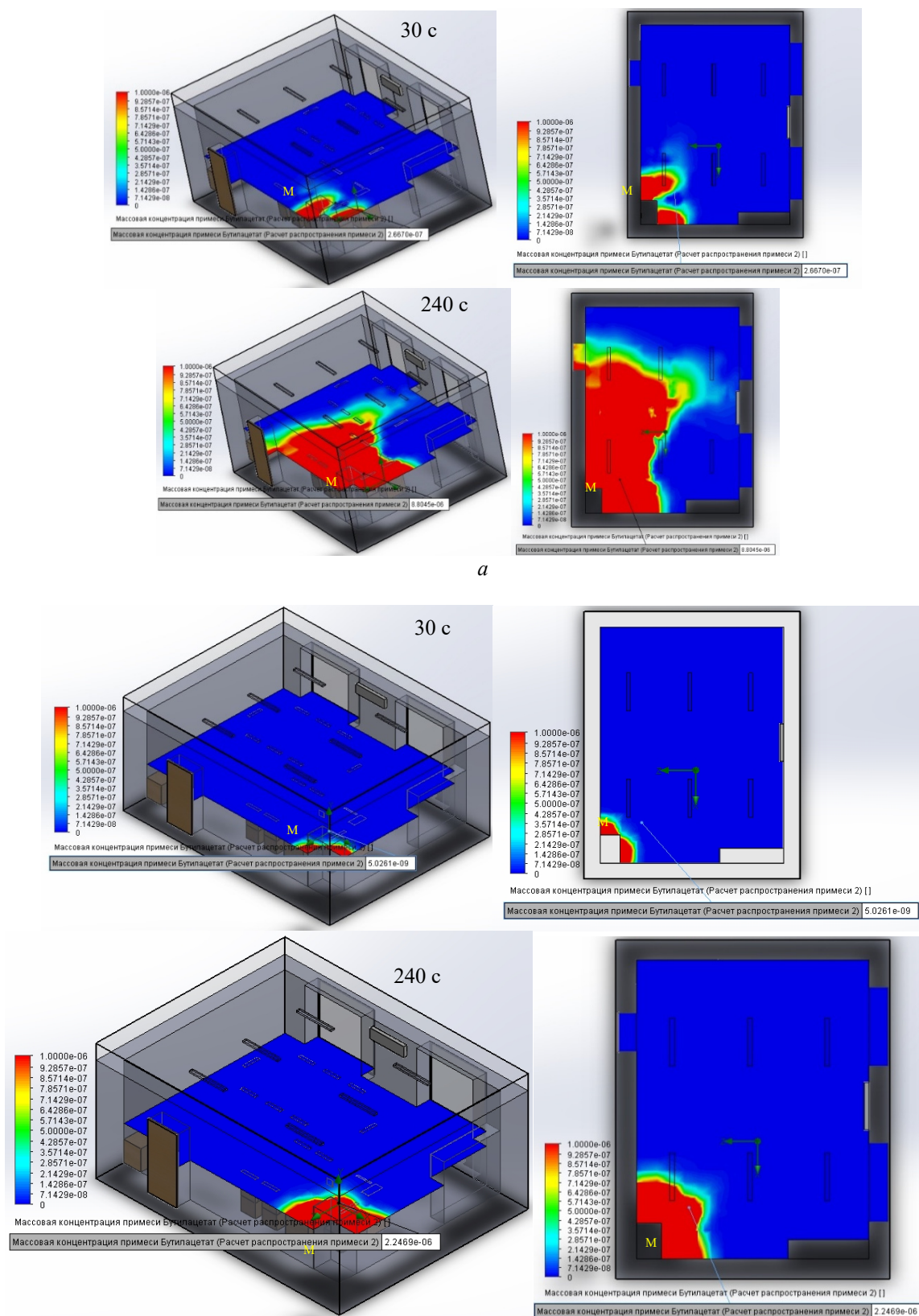


Рис. 5. Распределение поля концентрации бутилацетата в: а) зимний период через 30 и 240 с; б) летний период через 30 и 240 с

На уровне слоя дыхания человека (1.5 м) концентрационное поле бутилацетата, отличное от нуля, появляется через 30 с (0.33 мг/м^3) вблизи вентиляционной системы помещения и покрывает рассматриваемое рабочее место сотрудника (точка М). Через 240 с концентрация бутилацетата на уровне слоя дыхания в рассматриваемой точке М достигает значения 10.78 мг/м^3 . Превышение предельно допустимой концентрации вещества в воздухе рабочей зоны (далее – ПДК_{рз}) в рассматриваемой точке М офисного помещения наблюдается через 92 мин.

На рис. 5, 6 представлено расчетное поле концентраций бутилацетата в офисном помещении при условии расположения источника загрязнения вблизи системы вентиляции для летнего периода через 30 и 240 с соответственно.

На уровне слоя дыхания человека концентрационное поле бутилацетата, отличное от нуля, появляется через 30 с (0.006 мг/м^3) вблизи вентиляционной системы помещения и покрывает рассматриваемое рабочее место сотрудника (точка М). Через 240 с концентрация бутилацетата на уровне слоя дыхания в рассматриваемой точке М достигает значения 2.75 мг/м^3 . Превышение ПДК_{рз} в рассматриваемой точке М офисного помещения наблюдается через 15 мин.

Результаты исследований показывают, что в зимний период концентрация бутилацетата в рассматриваемой точке М через 4 мин почти в шесть раз больше, чем в летний период.

При этом превышение ПДК_{рз} бутилацетата в летний период происходило за 15 мин, а превышение ПДК_{рз} в зимний период – через 92 мин.

Данные различия обусловлены тем, что в зимний период из-за большей разницы температур (наружного и внутреннего воздуха) возникают более интенсивные воздушные потоки, обусловленные свободной естественной конвекцией воздуха, поэтому в рассматриваемой точке М концентрация бутилацетата достигает уровня ПДК_{рз} значительно позже.

ВЫВОДЫ

Представленная система мониторинга воздушной среды офисных помещений включает два модуля: информационно-измерительный и информационно-аналитический.

Информационно-измерительный модуль предназначен для обнаружения и идентификации вредных химических веществ. В его состав входят два вида технических средств: «СИГ-МА-03» и ГАС «Сегмент»; количество необходимых технических средств определяется геометрией помещения и физико-химическими свойствами вредных химических веществ.

Информационно-аналитический модуль включает в себя необходимые данные, комплексы программ и автоматизированное рабочее место оператора, на мониторе которого отображаются результаты мониторинга воздушной среды офисного помещения. Результаты мониторинга представляются в виде концентрационных, скоростных и температурных полей как в двухмерном, так и трехмерном виде.

Представлены результаты экспериментальных исследований мониторинга воздушной среды типового офисного помещения. В качестве загрязняющего вещества выбран бутилацетат. Источник загрязнения располагался вблизи системы вентиляции. При помощи программного комплекса Solidworks 2020 получено распределение концентрации бутилацетата в офисном помещении с учетом расположения источника загрязнения и рабочего места.

Результаты моделирования показали, что в летний период за счет незначительной разницы температур наружного и внутреннего воздуха концентрация бутилацетата достигает уровня ПДК рабочей зоны в 6 раз быстрее, чем в зимний период.

Работоспособность созданной системы мониторинга продемонстрирована на примере распространения бутилацетата в офисном помещении. Дальнейшие исследования будут направлены на тестирование системы мониторинга воздушной среды помещений различных конфигураций, с различным расположением источников загрязнений, а также с различными загрязняющими веществами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдова И.С., Гапоненко А.В. Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах // Science Of Europe. 2017. № 14-2(14). Р. 3–5.
2. Лобанов Д.В., Шенс Р.А., Портнова Н.В. Экспериментальные исследования энергоэффективности работы систем климатизации в офисном помещении // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т.14. № 3. С. 71–78.
3. Абрамкина Д.В., Агаханова К.М. Влияние естественного воздухообмена в помещении на концен-

трацию взвешенных частиц. // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 6. С. 912–921.

4. Федеральный закон от 10.01.2002. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17718> (дата обращения: 10.01.2023).

5. Корчков А.П. Микроклимат помещений // Вестник магистратуры. 2020. № 2–1 (101). С. 14–19.

6. Цыганков А.В., Цыганков И.А. Комплексная оценка воздушно-теплового комфорта жилых помещений // Техносферная безопасность. 2011. № 5–6(17-18). С. 65–68.

7. Якунина И.В., Попов Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мони-

торинг: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. 188 с.

8. Бизикин А.В. и др. Принципы построения автоматизированной системы экологического мониторинга при выбросах вредных веществ // Экологически устойчивое развитие Центрального федерального округа: докл. науч.-практ. форума / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.М. Панарина. Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. С. 173–182.

9. Петрова Д.Д., Чеснов А.А., Скворцов Ф.И., Тарасов А.В., Хрусталев Р.А., Пантелеев В.В., Абрамов Д.О. Методы и приборы для определения вредных химических веществ в атмосферном воздухе // Химия и технология органических веществ. 2021. № 2 (18). С. 73–83.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI», 2023, vol. 12, no. 2, pp. 95–102

OFFICE SPACE AIR MONITORING SYSTEM

A.V. Tarasov^{1,*}, D.E. Ivanov¹, T.N. Shvetsova-Shilovskaya¹, R.A. Khrustalev¹

Federal state unitary enterprise «State scientific-research Institute of organic chemistry and technology» (FGUP «GosNIIOKHT») State research center of the Russian Federation

Moscow, shosse Entuziastov 23, 111024, Russia

**e-mail: dir@gosniiokht.ru*

Received May 17, 2023; revised May 19, 2023; accepted June 8, 2023

The article describes the air monitoring system of office premises designed to assess air quality. The urgency of the task of creating air quality monitoring systems is due to the fact that the air environment contaminated with harmful chemicals can have a negative impact on humans.

The developed system includes information-measuring and information-analytical blocks that meet certain requirements, such as sensitivity, selectivity, speed and compactness. The main task of the information and measurement module is the detection and identification of harmful chemicals. The purpose of the information and measurement module is to determine concentration, velocity and temperature fields at any time at any point in the room.

The approbation of the developed system was carried out on the basis of experimental studies. Butyl acetate was selected as a contaminant. The source of the contamination was located near the ventilation system. Modeling of the spread of pollutants in the room is performed in the Solidworks 2020 software package. The distribution of butyl acetate concentration in an office space at the level of the human respiration layer is obtained, taking into account the location of the source of pollution and the workplace, as well as taking into account the time of year. The values of butyl acetate concentration at various points of time at the employee's workplace were determined.

The simulation results showed that in the summer, due to a slight difference in outdoor and indoor air temperatures, the concentration of butyl acetate at the employee's workplace reaches the maximum permissible values much faster than in winter.

Keywords: monitoring system, office space, air pollution, harmful chemicals, mathematical modeling.

REFERENCES

1. Davydova I.S., Gaponenko A.V. Problema zagryazneniya atmosfornogo vozduha v gorodah [The problem of air pollution in cities]. Science of Europe, 2017. No. 14–2 (14). Pp. 3–5 (in Russian).

2. Lobanov D.V., SHeps R.A., Portnova N.V. Eksperimental'nye issledovaniya energoeffektivnosti raboty sistem klimatizatsii v ofisnom pomeshchenii [Experimental studies of the energy efficiency of the operation

of air conditioning systems in an office space]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2018. Vol. 14. No. 3. Pp. 71–78 (in Russian).

3. Abramkina D.V., Agahanova K.M. Vliyanie estestvennogo vozduhoobmena v pomeshchenii na koncentraciyu vzveshennykh chastic [The effect of natural air exchange in the room on the concentration of suspended particles]. Vestnik SibADI, 2018. Vol. 15. No. 6. Pp. 912–921 (in Russian).

4. Federal'nyj zakon ot 10.01.2002. № 7-FZ «Ob ohrane okruzhayushchej sredy» [Federal Law No. 7-FZ of 10.01.2002 «On Environmental Protection»]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/17718> (accessed 10.01.2023).

5. *Korchkov A.P.* Mikroklimat pomeshchenij [Indoor microclimate]. Vestnik magistratury, 2020. No. 2–1 (101). Pp. 14–19 (in Russian).

6. *Cygankov A.V., Cygankov I.A.* Kompleksnaya ocenka vozdušno-teplovogo komforta zhilyh pomeshchenij [Comprehensive assessment of the air-thermal comfort of residential premises]. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2011. No. 5–6 (17–18). Pp. 65–68.

7. *Yakunina I.V., Popov N.S.* Metody i pribory kontrolya okruzhayushchej sredy. Ekologicheskij monitoring : uchebnoe posobie. [Methods and devices of environmental control. Environmental monitoring: a textbook]. Tambov, Izd. TGTU Publ., 2009. 188 p.

8. *Bizikin A.V. et al.* [Principles of building an automated environmental monitoring system for emissions of harmful substances]. Ekologicheskij ustojchivoe razvitie Central'nogo federal'nogo okruga: doklad nauchno-prakticheskogo foruma / Pod obshch. red. prof. V.M. Panarina [Environmentally sustainable development of the Central Federal District: dokl. scientific-practical. forum / Under common. ed. d.t.s., prof. V.M. Panarina]. Tula, Izd. TulGU Publ., 2008. Pp. 173–182.

9. *Petrova D.D., Chesnov A.A., Skvortcov F.I., Tarasov A.V., Hrustalev R.A., Panteleev V.V., Abramov D.O.* Metody i pribory dlya opredeleniya vrednyh himicheskikh veshchestv v atmosfernom vozduhe [Methods and devices for the determination of harmful chemicals in the atmospheric air]. Himiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv, 2021. No. 18. Pp. 73–83 (in Russian).