

УДК 613.6:621.43

Б.Ч. МЕСХИ, Ю.И. БУЛЫГИН, Е.И. МАСЛОВ, Д.А. КОРОНЧИК, Л.Л. ТИРАЦУЯН

## МОДЕЛЬ МАССОПЕРЕНОСА ТЯЖЕЛЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ УЧАСТКОВ ОБКАТКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЗОН ЗАГАЗОВАННОСТИ ПО КАНЦЕРОГЕНАМ

Уточнена математическая модель, описывающая процессы переноса и ассимиляции вредных веществ в помещениях участков обкатки в отношении выбросов твердых частиц: сажи и бенз(а)пирена. Модель позволяет прогнозировать качество воздуха в рабочей зоне таких помещений, определять опасные канцерогенные зоны в поле концентраций токсичных газов.

**Ключевые слова:** загазованность, канцерогены, концентрация, вентиляция, опасные зоны.

**Введение.** Авторами была разработана нестационарная трехмерная математическая модель конвективно-диффузионного распространения вредных веществ в производственном помещении, которая позволила достаточно точно определить поля концентраций в отношении теплых газообразных токсичных веществ, являющихся легкими примесями (аэрозолями) [1]. Однако вопрос распространения и ассимиляции твердых частиц, а именно частиц сажи и бенз(а)пирена, присутствующих в отработанных газах (ОГ), отходящих от стенов обкатки комбайнов, не рассматривался.

**Постановка задачи.** Известно, что канцерогенные вещества являются наиболее токсичными компонентами ОГ. Ряд коэффициентов относительной агрессивности токсичных компонентов ОГ приведен в работе [2]:

$$K_{CO} : K_{CH} : K_{NOx} : K_{TЧ} : K_{SOx} : K_{Б(а)П} = 1 : 3,16 : 41,1 : 41,1 : 16,5 : 1260000. \quad (1)$$

По сравнению с угарным газом бенз(а)пирен опаснее для человека более чем в миллион раз. Из дисперсионного анализа известно, что дизельная сажа по массе представлена твердыми частицами размера от 0,7 до 15 мкм, которые наиболее опасны для здоровья человека, так как попадают через органы дыхания и переносят частички бенз(а)пирена.

Поэтому расчетные опасные зоны по канцерогенам могут существенно отличаться от зон загазованности, соответственно снижается точность прогнозирования качества воздуха в исследуемых производственных помещениях [1]. Поэтому предпринята попытка уточнить опасные зоны загазованности, рассмотрев распространение тяжелых примесей.

Для решения поставленной задачи необходимо уточнение ранее разработанной математической модели [1] как в отношении интенсивности выделения бенз(а)пирена источником загрязнения (двигатель машины), так и в отношении особенностей распространения твердых частиц, которые определяются скоростью их осаждения в воздушной среде помещения обкатки.

**Теоретические положения. Математическая модель переноса.** Предложенный метод расчета базируется на созданной численной модели [1] процесса миграции примеси в помещении на основе трехмерного уравнения конвективно-диффузионного переноса вредностей в воздушной среде

$$\begin{aligned} & \partial C / \partial t + \partial(uC) / \partial x + \partial(vC) / \partial y + \partial C(w - w_s) / \partial z = \\ & = \partial / \partial x (A_x \partial C / \partial x) + \partial / \partial y (A_y \partial C / \partial y) + \partial / \partial z (A_z \partial C / \partial z) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в помещении;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости воздушной среды;  $w_s$  – скорость подъема/оседания легких/тяжелых примесей;  $A$  – коэффициент турбулентного обмена;  $Q_i(t)$  – интенсивность выброса вредного вещества от  $i$ -го источника в помещении;  $\delta(r - r_i)$  – дельта-функция Дирака;  $r_i = (x_i, y_i, z_i)$  – координаты источника выброса.

Это уравнение неразрывности потока примеси. Члены, содержащие компоненты скорости  $u, v, w$ , в направлении координатных осей  $x, y, z$ , описывают конвективный перенос примеси. В правой части уравнения сгруппированы члены, описывающие диффузионную часть.

Для расчета поля скорости воздушного потока в помещении, индуцированного работой вентиляции, делается допущение, что движение воздушной среды в помещении потенциальное, тогда компоненты скорости воздушной среды определяются соотношениями:

$$u = \partial P / \partial x, \quad v = \partial P / \partial y, \quad w = \partial P / \partial z,$$

где  $P$  – потенциал.

Уравнение для определения потенциала имеет вид

$$\partial^2 P / \partial x^2 + \partial^2 P / \partial y^2 + \partial^2 P / \partial z^2 = 0. \quad (3)$$

Для решения дифференциальных уравнений (2) и (3) задаются начальные и граничные условия [1].

**Распространение тяжелой примеси.** Особенности распространения тяжелых примесей определяются в значительной мере собственной скоростью их осаждения, которая зависит от плотности, размеров и формы частиц аэрозоля.

Скорость падения/оседания сферических твердых частиц может быть определена по формуле Стокса, полученной из условия равновесия, действующего на шаровую частицу трех сил (тяжести, сопротивления и поддерживающей):

$$w_s = 1,3 \cdot 10^{-2} \rho_i r_i^2, \quad (4)$$

где  $\rho_i$  – плотность частиц тяжелой примеси,  $r_i$  – радиус частицы.

Таким образом, для определения скорости оседания твердой частицы примеси необходимо знание физических свойств вещества и данных дисперсионного анализа.

**Свойства и дисперсионный анализ дизельной сажи.** Изучением дисперсионного состава дизельной сажи занимались многие исследователи [3, 4]. В их работах можно найти подробные ссылки на современные исследования в данной области. Утверждения авторов этих исследований зачастую полярно противоположные. В некоторых указывается, что средний размер частиц в выхлопных газах дизельного двигателя колеблется в пределах 0,2–0,3 мкм и слабо зависит от режима работы и типа исследуемого двигателя [3]. В других приведены распределения твердых частиц в выхлопных газах в зависимости от режима работы двигателя и отмечено, что размеры частиц меняются в пределах 1–14 мкм [4].

Столь разные результаты не могут быть отнесены к погрешностям измерений и нет причины сомневаться в корректности проведения экспериментов различными исследователями. Дело в том, что классический процесс конденсации начинается с флуктуаций плотности газового объема с последующим ростом образовавшихся микрочастиц [5]. Поэтому, строго говоря, в распределении частиц по размерам должны присутствовать частицы от молекулярных до макроскопических размеров. Размер микрочастиц определяется конкретными экспериментальными условиями, а универсальной причины ограничения роста частиц просто не существует. На основе разработанного метода голографической регистрации конденсированной фазы в ОГ дизельного двигателя проведены измерения характеристик дисперсного состава ОГ дизельного двигателя КамАЗ-740 при различных режимах работы и изменения дисперсного состава (рис.1).

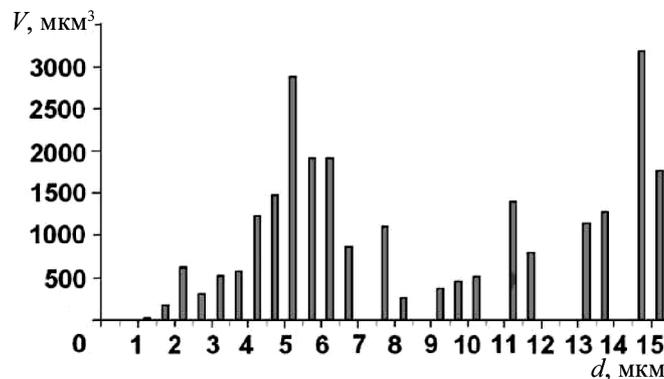


Рис.1. Распределение массы (объема) частиц сажи по диаметрам до каталитического нейтрализатора

Особенностью метода является использование для регистрации голограммы скоростной цифровой камеры с прямым вводом в ПЭВМ и непосредственной компьютерной обработки получаемых результатов. Как видно из гистограммы, наибольшую массу имеют частицы двух характерных диаметров: 5 мкм и 15 мкм. Процесс их распространения можно описывать на основе уравнения (2) модели массопереноса, каждый раз уточняя величину  $w_s$  (4). При этом воспользуемся упрощением, что вся масса выбрасываемых частиц имеет диаметр 10 мкм.

**Характеристика интенсивности движения газоздушных потоков и примесей в производственном помещении.** Большое влияние на поля концентраций вредные вещества (ВВ) оказывают коэффициенты турбулентной диффузии, входящие в уравнение массопереноса (2).

При турбулентном течении потока и турбулентном переносе коэффициенты  $A_{\Pi}$  пропорциональны диссипируемой энергии и определяющему размеру рассматриваемого источника. Для вентилируемых помещений, зная величину энергии, поступающей в помещение, и определяющий размер источника, можно определить коэффициент турбулентного обмена в плоскости  $(x, y)$ ,  $m^2/c$ :

$$A_x = A_y = 0,25\varepsilon^{1/3}l_{\Pi}^{4/3}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon$  – кинетическая энергия воздушных потоков в помещении;  $l_{\Pi}$  – определяющий размер помещения для прямоугольных отверстий и сечений неправильной формы,  $l_{\Pi} = \sqrt{F}$  ( $F$  – площадь сечения помещения, перпендикулярная направлению движения воздушных потоков).

Коэффициент турбулентного обмена по высоте помещения находится из зависимости, предложенной М.Е. Берляндом для наибольших классов устойчивости воздушной среды  $A_{\Pi Z} = A_{Z=1}(z/z_1)$ , что допустимо для исследуемого помещения. Здесь  $A_{Z=1}$  – коэффициент турбулентного обмена на высоте 1 м;  $z$  – текущая высота помещения, м [6].

Кинетическая энергия воздушных потоков в помещении определяется из формулы:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\Pi C} + \varepsilon_{TC} + \varepsilon_{ДП} - \varepsilon_{BC},$$

где  $\varepsilon_{\Pi C}$  – энергия приточных струй;  $\varepsilon_{TC}$  – тепловых струй;  $\varepsilon_{ДП}$  – движущихся предметов;  $\varepsilon_{BC}$  – вытяжных струй.

Величины  $\varepsilon_{\Pi C}$  и  $\varepsilon_{TC}$  учитываются в модели рассеивания ВВ:

$$\varepsilon_{\Pi C} = G_B \xi v^2 / 2G_{\Pi}, \quad (6)$$

где  $G_B$  – масса воздуха, подаваемого в помещение, кг/с,  $G_B = L\rho$ , где  $L$  – объемный расход воздуха,  $m^3/c$ ;  $\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ ;  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления на выходе из воздухоораспределителей (табличные справочные данные);  $v$  – средняя скорость выхода воздуха из приточных отверстий, м/с;  $G_{\Pi}$  – масса воздуха в объеме помещения, кг, ( $G_{\Pi} = V\rho$ ).

Учитывая, что кратность воздухообмена  $\kappa_p = L/V_{\Pi}$ , где  $V_{\Pi}$  – свободный объем помещения,  $m^3$ , после преобразований получаем:

$$\varepsilon_{\Pi C} = \kappa_p \xi v^2 / 2 = L/V_{\Pi} \xi v^2 / 2; \quad (7)$$

$$\varepsilon_{TC} = \frac{E_{TC}}{G_{\Pi}} = \frac{g\bar{Q}z}{C_p T_0 \rho} \frac{1+n}{4} \quad \text{или} \quad \varepsilon_{TC} = k \frac{\bar{Q}}{\rho_B} z, \quad (8)$$

где  $\bar{Q}$  – теплонапряженность объема,  $Вт/м^3$ ,  $\bar{Q} = Q_{\text{я}}/V_{\Pi}$ ;  $Q_{\text{я}}$  – теплоступление явного тепла в помещение,  $Вт$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m^2/c$ ;  $z$  – расстояние от полюса до рассматриваемой точки, м:  $z = z_{\Pi} + z_n$ , где  $z_{\Pi}$  – расстояние от источника до полюса струи, м;  $z_n$  – расстояние от источника до рассматриваемой точки, м;  $n$  – экспериментальная константа,  $n=0,8$ ;  $C_p$  – теплоемкость воздуха в удалении от источника;  $T_0$  – температура воздуха в удалении от источника,  $K$ ;  $\rho_B$  – плотность воздуха в удалении от источника,  $kg/m^3$ ;  $k$  – коэффициент пропорциональности для нагретой пластины, расположенной на основании,  $k = 3,43 \cdot 10^{-6}$ , расположенной заподлицо с плоскостью,  $k = 18,3 \cdot 10^{-6}$ .

Явное теплоступление в помещение учитывается для источников, оборудованных местными отсосами:

$$Q_{\text{я}} = C_{\text{рог}}^{\text{max}} Q_{\text{ог}}^{\text{max}} (T_{\text{ог}}^{\text{max}} - T_0)(1 - \varphi_{\text{ог}}) A_{\text{д}},$$

а для источников, ими не оборудованных:

$$Q_{я} = C_{\rho OG}^{XX} Q_{OG}^{XX} (T_{OG}^{XX} - T_0)(1 - \varphi_{OG}) A_D,$$

где  $C_{\rho OG}^{max}, C_{\rho OG}^{XX}$  – изобарные теплоемкости ОГ на режимах максимальной нагрузки и холостого хода, Дж/кг·К;  $T_{OG}^{max}, T_{OG}^{XX}$  – температура ОГ на различных режимах нагрузки, К;  $A_D$  – количество стенов;  $\varphi$  – степень эффективности работы местного отсоса.

**Характеристика источника выделения вредностей.** Когда двигатель комбайна работает под нагрузкой, с ОГ через неплотность местных отсосов в штатных условиях или при разрыве отсоса в аварийной ситуации в воздух РЗ поступают токсичные компоненты. Для определения их массового выброса была разработана эмпирическая модель на основе регрессионных полиномов [7].

Функция  $Q_i(t)$  может быть определена по формуле:

$$Q_i(t) = C_{iD} Q_{OG\text{срД}} (1 - \varphi_{OG}) / 3600, \tag{9}$$

где  $C_{iD}$  – концентрация ВВ в ОГ от  $i$ -го источника загрязнения, г/м<sup>3</sup>;  $Q_{OG\text{срД}}$  – расход отработанных газов двигателя комбайна при средней мощности обкатки, м<sup>3</sup>/с;  $\varphi_{OG}$  – эффективность местного отсоса у обкаточного стенда, которая либо рассчитывается, либо принимается равной от 70 до 90 % в зависимости от его конструктивного устройства.

Концентрации ВВ в ОГ для сажи и бенз(а)пирена могут быть вычислены по полиномам, полученным в результате аппроксимации большого числа достоверных экспериментальных данных по выбросам этих веществ (табл.1).

Таблица 1

Концентрации вредных веществ в ОГ комбайновых ДВС в зависимости от режима нагрузки (установившиеся режимы работы двигателя при обкатке)

Концентрации ВВ в ОГ источника загрязнения в зависимости от его относительной мощности	Точность расчетов, R <sup>2</sup>
$C_C = 0,2114\bar{N}^2 - 0,0214\bar{N} + 0,0324, \text{ г/м}^3$	0,9838
$C_{C_{20}H_{12}} = -2,2933\bar{N}^3 + 5,3143\bar{N}^2 + 0,2290\bar{N} + 0,4313, \text{ мкг/м}^3$	1

Для приближенных оценочных расчетов можно воспользоваться данными удельных показателей выбросов сажи и бенз(а)пирена дизельными двигателями при обкатке из нормативной литературы.

Расход ОГ на любом режиме обкатки комбайна (м<sup>3</sup>/с), определяется по формуле:

$$Q_{OG} = 24,353 \varphi_{np} \beta L_0 \alpha N_e / H_u \eta_i \eta_m \rho_{см}, \tag{10}$$

где  $\varphi_{np}$  – коэффициент продувки, для 2-тактных двигателей  $\varphi_{i0} = 1,4-1,6$ ; для 4-тактных  $\varphi_{i0} = 1,1-1,25$ ;  $\beta$  – коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси, определяемый из теплового расчета;  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;  $H_u$  – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг;  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт;  $L_0$  – теоретический расход воздуха на сгорание, кмоль;  $\eta_i, \eta_m$  – индикаторный и механический КПД двигателя.

Плотность смеси ОГ вычисляли для смеси осредненного состава на режимах прогрева, холостом ходу и при пробеге.

Численное решение уравнений (2) и (3) осуществляется с помощью метода конечных элементов. При решении уравнений предложенной математической модели использовались процедуры из пакета FlexPDE – программы, поддерживающей метод конечных элементов при моделировании объектов с распределенными переменными, описываемыми нелинейными дифференциальными уравнениями с частными производными.

**Результаты модельных расчетов.** Объект исследования – участок обкатки комбайнов сборочного цеха № 20 ОАО «КЗ "Ростсельмаш"». Исходные данные для модельных расчетов: геометрические параметры помещения обкатки комбайнов (длина – 132 м, ширина – 60 м, высота – 14 м); количество и геометрические размеры стендового оборудования и обкатываемых сборочных единиц; время работы в соответствии с технологическим процессом обкатки; виды и расположение источников загрязнения (обкатываемых машин) и рабочих мест; степень эффективности местных отсосов (70 %); интенсивность движения газоздушных потоков (входные и выходные скорости);

интенсивность выделения ВВ от источников, полученных по регрессионным полиномам в зависимости от режима обкатки (табл.2); схема организации движения газозвдушных потоков в вентилируемом помещении с различным расположением воздухораспределителей системы механической вентиляции, а также приточных и вытяжных отверстий (рис.2); расчетный период года – теплый и холодный.

Таблица 2

Интенсивность выделения сажи и бенз(а)пирена источником загрязнения

Режим обкатки машины	Максимально разовые выбросы вредных веществ при режимах обкатки комбайна ACROS-530					
	Сажа, г/с			Бенз(а)пирен, г/с		
	Штатный режим, $\phi=0,7$	Авария (отрыв отсоса)	Неисправность обкатываемой машины	Штатный режим, $\phi=0,7$	Авария (отрыв отсоса)	Неисправность обкатываемой машины
Полная нагрузка	0,08706	0,2902	0,87	$8,01 \cdot 10^{-7}$	$2,67 \cdot 10^{-6}$	$8,01 \cdot 10^{-6}$
Средние режимы нагрузки	0,02151	0,0717	0,2151	$0,15 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Холостой ход	–	–	–	–	$0,06 \cdot 10^{-6}$	$0,18 \cdot 10^{-6}$

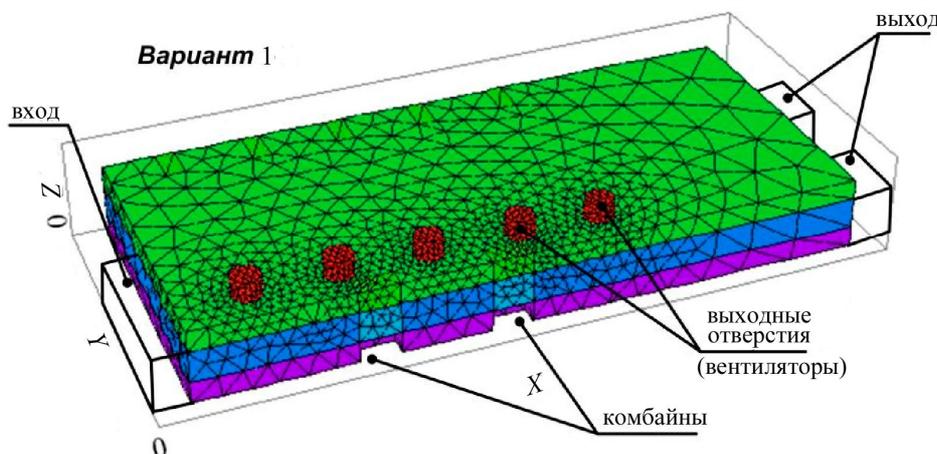


Рис.2. Расчетная схема организации движения газозвдушных потоков в помещении обкатки комбайнов

При проведении модельных расчетов были рассмотрены как штатные режимы работы оборудования на участке обкатки комбайнов, так и различные аварийные ситуации, которые оказывают существенное влияние на формирование полей концентраций ВВ и опасных зон загазованности в помещении.

Под штатным режимом понимается исправная работа всех видов оборудования и систем вентиляции производственного помещения. Загазованность воздуха рабочей зоны создается лишь за счет выделения ВВ от источников, оборудованных негерметичными местными отсосами, а также мест проверки работы кондиционеров комбайнов, которые не оснащены системой локальной вытяжной вентиляции. Таким образом, загазованность определяется фоном, полученным от всех источников загрязнения.

Под аварийными ситуациями на участке обкатки машин понимаются вероятные случаи разрыва местных отсосов, которыми оборудованы все стенды обкатки комбайнов, а также ситуация, когда внезапно выключается общеобменная и аварийная механическая вентиляция. Это наиболее типичные аварийные ситуации для данного производства. Рассмотрены наиболее вероятные и неблагоприятные случаи, причем моделировалось и срабатывание систем защиты (ручное и автоматическое отключение оборудования, включение аварийной вентиляции и т.д.).

**Штатный режим работы участка обкатки. Численные эксперименты на модели.** Расчетная схема организации движения газозвдушных потоков в помещении обкатки комбайнов соответствует «Варианту 1» (реализован в ОАО «КЗ «Ростсельмаш») (рис.2). Исправно функционируют системы принудительной общеобменной и местной вентиляций помещения. Поля концентраций бенз(а)пирена в воздухе помещения участка обкатки комбайнов получены при нормальной работе местных отсосов ( $\phi_{от} = 0,7$ ) для двух расчетных периодов года (теплого и холодного).

Значения входной и выходной скорости движения воздуха в вентилируемом помещении принимались в диапазоне, установленном нормативными значениями микроклиматических параметров – 0,2 м/с. Поля концентраций бенз(а)пирена рассчитаны по модели на трех характерных срезах по высоте помещения 2, 4, 12 м, что обусловлено реальным расположением разных рабочих мест на участке. В рассматриваемом случае, загазованность производственного помещения создается за счет выделения газов и бенз(а)пирена от семи источников загрязнения, которые определяют фоновые концентрации в воздухе, увеличиваясь с течением времени.

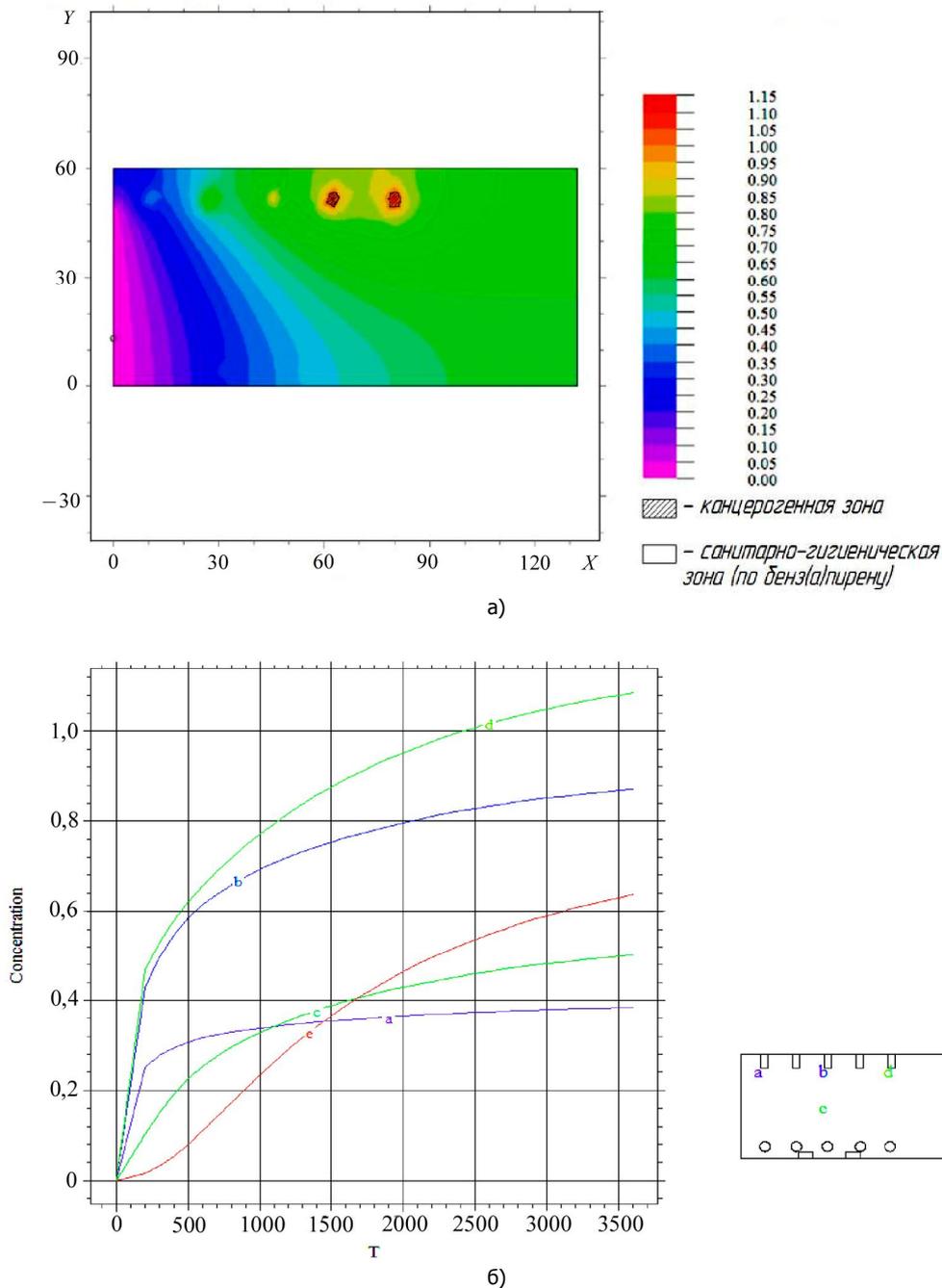


Рис.3. Расчет значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки в холодный период года:  
 а – поля относительных значений концентраций бенз(а)пирена;  
 б – динамика изменения относительных концентраций бенз(а)пирена

На рис.3,а представлены рассчитанные по модели поля относительных концентраций бенз(а)пирена на высоте 4 м на один час работы участка в холодный расчетный период года. Мак-

симальная концентрация бенз(а)пирена –  $x$ . Как следует из картин распределения полей концентрации, существенное влияние на их формирование оказывает расчетный период года. Объясняется это влияние тем, что в холодный период года в соответствии с технологией обкатки в течение рабочего часа выездные ворота остаются закрытыми. Результаты модельных расчетов полей подвижности воздуха в помещении участка обкатки подтверждают, что в холодный период года скорости движения газозвдушных потоков в правой части помещения (у выездных ворот) невелики, что создает условия для образования застойной зоны и, как следствие, повышения концентрации в этой части помещения (рис.3,а). Как видно из результатов модельных расчетов, концентрация по бенз(а)пирену превышает установленные предельно допустимые концентрации (ПДК) на 15 % даже в штатном безаварийном режиме работы обкаточного цеха. При открытых въездных и выездных воротах в теплый период года создают хорошие условия для дополнительного проветривания, и превышения нет.

**Авария, связанная с вероятным выходом из строя общеобменной вентиляции.** Рассмотрим наиболее нежелательную аварийную ситуацию, когда внезапно отключается (не работает) принудительная общеобменная и аварийная вентиляция. Модельные расчеты проведены для теплого и холодного периода года при существующем на предприятии варианте организации воздухообмена помещения.

На рис.4,а, б показаны поля относительной концентрации по бенз(а)пирену. Расчеты произведены при скорости движения воздуха в помещении 0,2 м/с и эффективности местных отсосов 70 %. Следует также отметить, что поля сформированы на час работы, т.е. на максимальное время продолжительности аварийной ситуации.

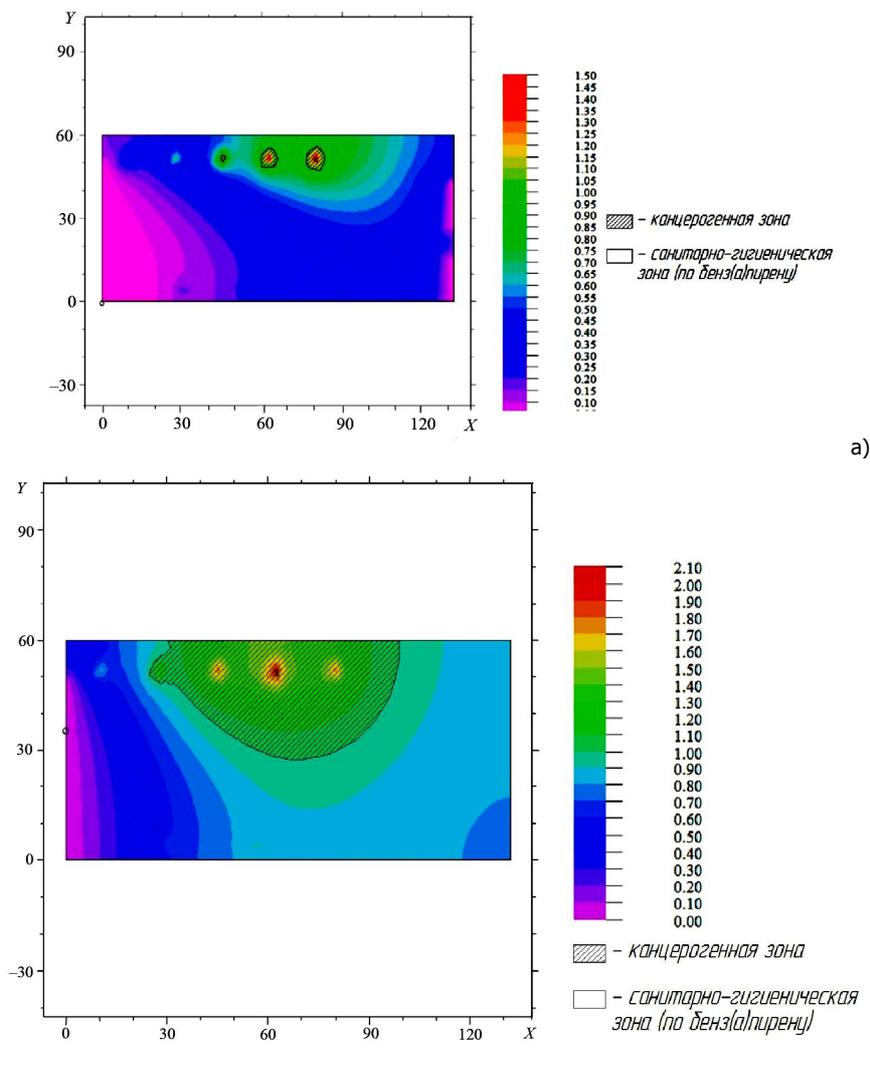


Рис.4. Поля относительных значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки в аварийном режиме: а – теплый период года; б – холодный период года

Анализ расчетных полей концентрации (рис.4,а, б) показывает, что при реализации схемы движения газозвоздушных потоков по «Варианту 1» опасная канцерогенная зона по бенз(а)пирену в холодный период года достигает почти четверти от площади всего помещения и представляет собой значительную опасность для работающих. В этой канцерогенной зоне три рабочих места, а ПДК превышен более чем в два раза. В теплый период года канцерогенные зоны имеют локальный характер и находятся около двух рабочих мест, но санитарно-гигиенический норматив также превышает в 1,5 раза.

Результаты расчетов доказывают, что в случае неработающей обменной и аварийной вентиляции (а для ряда предприятий России это, к сожалению, штатная ситуация) операторы обкаточных участков находятся в экстремально-негативных условиях.

**Авария, связанная с вероятной разгерметизацией местного отсоса.** Рассмотрим внезапный «разрыв» крайнего местного отсоса на стенде. На рис.5 показаны картины полей концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки, которые сформировались за разное время. Начальный период работы был штатным (около 40 мин), затем – фаза периода аварии  $\tau_{a1}$ .

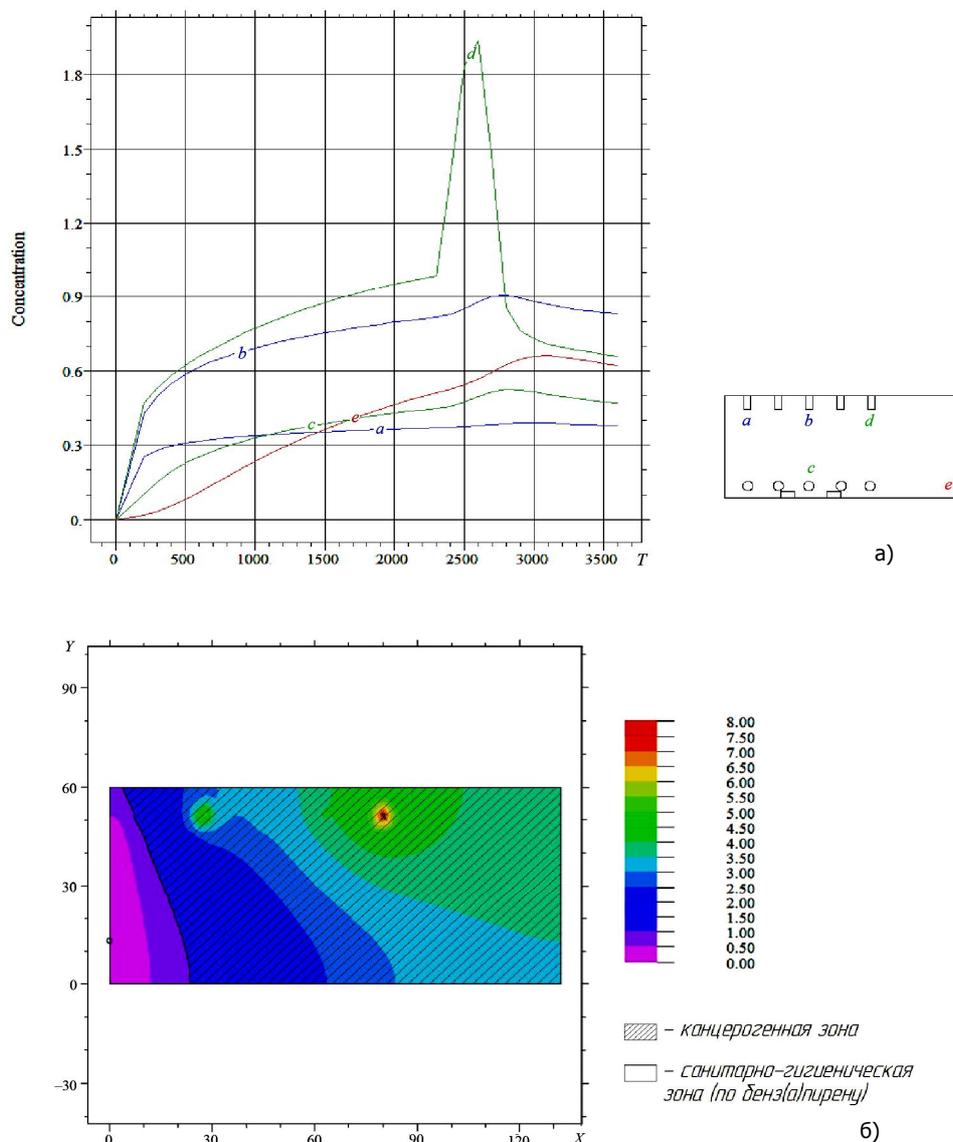


Рис.5. Расчет значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки в холодный период года: а – динамика изменения в течение всего аварийного периода, разрыв крайнего источника, ручное отключение; б – поля относительных значений концентраций бенз(а)пирена в воздухе участка обкатки во внештатной ситуации

Как видно, при ручном отключении поврежденного стенда и оборудования  $\tau_{a1} = 300$  с кратковременно формируется локальная канцерогенная зона бенз(а)пирена (рис.5). После отключения оборудования превышение ПДК концентрации не наблюдается.

**Нештатная ситуация, вызванная неисправностью обкатываемых комбайнов.** На участке обкатки имеют место случаи, когда один или несколько комбайнов неисправны или не отрегулированы. Выбросы вредных веществ таких комбайнов превышают «паспортные» значения в десять и более раз. Например, комбайны 2 и 5 в холодный период года неисправны (превышение значений по бенз(а)пирену в 10 раз). За один час работы комбайнов площадь, где имеет место превышение ПДК, составила 88,63 % от всей площади обкаточного участка (рис.5,6).

**Результаты расчетов и их обсуждение.** Полученные результаты при дальнейших исследованиях могут быть уточнены в отношении:

– учета вихревых движений воздушных токов в помещении при расчетах активной вентиляции в загазованных помещениях;

– применения дискретного подхода к расчету распространения твердых частиц с учетом их формы, размера и траектории движения.

Также можно получить поля распределения концентраций сажи в воздухе рабочей зоны в объеме всего помещения.

**Выводы.** Уточнена математическая модель процессов переноса и ассимиляции вредных веществ в воздушной среде участка обкатки комбайнов в отношении тяжелых примесей.

Получены поля концентрации бенз(а)пирена в воздухе помещения участка обкатки комбайнов, которые позволили определить канцерогенные зоны по бенз(а)пирену, негативно воздействующие на работников в условиях активной вентиляции.

#### Библиографический список

1. Моделирование процессов переноса и ассимиляции вредных веществ в загазованном помещении участка обкатки / Л.Н. Алексеенко, Б.Ч. Мехи, Е.И. Маслов, Ю.И. Булыгин // Вестн. ДГТУ. – Спецвыпуск. Технические науки. – 2009. Ч.1. – С. 56–69.

2. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для высшей школы / А.Р. Кульчицкий. – М.: Академический проект, 2004. – 400 с.

3. Мансуров З.А. Сажеобразование в процессах горения / З.А. Мансуров // Физика горения и взрыва. – 2005. – Т. 41. – № 6. – С.137–156.

4. Новоселов А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов. – Новосибирск: Наука, 2002. – 96 с.

5. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика / Ю.Л. Климонтович. – М.: Наука, 1982. – 608 с.

6. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.

7. Моделирование выделения вредных веществ в воздух рабочей зоны участков обкатки машиностроительных предприятий / Л.Н. Алексеенко // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т. 9, № 2(41). – С. 271–283.

8. Кузнецов И.С. Моделирование полей концентраций вредных веществ и обоснование воздухообмена в производственных помещениях: дисс. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2007. – 125 с.

#### References

1. Modelirovanie processov perenosa i assimilyacii vrednyh veschestv v zagazovannom pomeschenii uchastka obkatki / L.N. Alekseenko, B.Ch. Meshi, E.I. Maslov, Yu.I. Bulygin // Vestn. DG TU. – Specvypusk. Tehnicheskie nauki. – 2009. Ch.I. – S. 56–69. – in Russian.

2. Kul'chickii A.R. Toksichnost' avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelei: ucheb. posobie dlya vysshei shkoly / A.R. Kul'chickii. – M.: Akademicheskii proekt, 2004. – 400 s. – in Russian.

3. Mansurov Z.A. Sajeobrazovanie v processah gorenija / Z.A. Mansurov // Fizika gorenija i vzryva. – 2005. – T. 41. – № 6. – S.137–156. – in Russian.

4. Novoselov A.L. Sovershenstvovanie ochistki otrabotavshih gazov dizelei na osnove SVS-materialov / A.L. Novoselov, V.I. Prolubnikov, N.P. Tubalov. – Novosibirsk: Nauka, 2002. – 96 s. – in Russian.

5. Klimontovich Yu.L. Statisticheskaya fizika / Yu.L. Klimontovich. – M.: Nauka, 1982. – 608 s. – in Russian.

6. Berlyand M.E. Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery / M.E. Berlyand. – L.: Gidro-meteoizdat, 1985. – in Russian.

7. Modelirovanie vydeleniya vrednyh veschestv v vozduh rabochei zony uchastkov obkatki mashinostroitel'nyh predpriyatii / L.N. Alekseenko // Vestnik DGTU. – 2009. – Т. 9, № 2(41). – S. 271–283. – in Russian.

8. Kuznecov I.S. Modelirovanie polei koncentracii vrednyh veschestv i obosnovanie vozduho-obmena v proizvodstvennyh pomescheniyah: diss. ... kand. tehn. nauk. – Voronej, 2007. – 125 s. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 15.06.10.

**B.Ch. MESKHI, J.I. BULYGIN, E.I. MASLOV, D.A. KORONCHIK, L.L. TIRATSUYAN**

**MODEL OF MASS TRANSFER OF HEAVY ADMIXTURES IN FANED LOCATIONS OF SECTIONS OF ROLLING AND DEFINITION OF HAZARDOUS ZONES OF THE GASSED CONDITION ON CANCEROGENES**

A mathematical model presenting transport processes and assimilation of harmful substances (soot and benzopyrene) in the breaking-in areas is specified. The designed model allows to forecast air quality in the working areas, to define hazardous cancerogenic zones in the deleterious gases concentration fields.

**Key words:** air pollution, cancerogenes, density, ventilation, hazardous zones.

**МЕСХИ Бесарион Чохоевич** (р. 1959), ректор Донского государственного технического университета, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», доктор технических наук (2005), профессор (2007). Окончил Ростовский институт сельскохозяйственного машиностроения (1985).

Область научных интересов: теория и методы обеспечения технологической и производственной безопасности.

Автор более 100 публикаций, 4 учебных пособий.

reception@dstu.edu.ru

**БУЛЫГИН Юрий Игоревич** (р. 1966), профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» ДГТУ, доктор технических наук (2007), доцент (2002). Окончил РИИЖТ (ныне РГУПС) (1988).

Область научных интересов: исследование рабочих процессов и моделирование процессов образования и выделения вредных веществ в ДВС, улучшение условий труда работников транспортных предприятий.

Автор более 80 научных трудов.

bulyur\_rostov@mail.ru.

**МАСЛОВ Евгений Игоревич** (р. 1985), ведущий специалист по информатизации и учету избирателей в администрации Октябрьского района Ростова-на-Дону, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончил Донской государственный технический университет (2007).

Область научных интересов: охрана труда, информационные системы и технологии.

Автор 3 публикаций.

MaJonik@yandex.ru

**КОРОНЧИК Денис Алексеевич** (р. 1986), аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (2008).

Область научных интересов: улучшение условий труда работников транспортных и машиностроительных предприятий, защита окружающей среды.

Автор 7 публикаций.

koronchic@mail.ru

**ТИРАЦУЯН Левон Леонидович** (р. 1986), инженер кафедры «Литье и художественная обработка материалов» Донского государственного технического университета. Окончил Донской государственный технический университет (2008).

Область научных интересов: охрана труда работников машиностроительных предприятий.

e-mail: llevon@mail.ru

**BESARION Ch. MESKHI** (1959), Rector of Don State Technical University, Head of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department (2005). Ph.D. in Science (2005), Professor (2007). He graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1985).

Research interests: theory and methods of ensuring technological and industrial safety.

Author of more than 100 scientific publications, 4 monographs and 4 manuals.

reception@dstu.edu.ru

**Yury I. BULYGIN** (1966), Professor of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University. Ph.D. in Science (2007), Associate Professor (2002). He graduated from Rostov Institute of Rail Transport Engineering (1988).

Research interests: working processes and processes modeling of formation and allocation of harmful substances in the explosion engines, improvement of working conditions of transport enterprises employees.

Author of more than 80 scientific publications.

bulyur\_rostov@mail.ru.

**Evgeny I. MASLOV** (1985), Senior Scholar in the informatization and voter registration of the October District Administration, Rostov-on-Don. Postgraduate student of the Life Safety and Environmental Protection Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2007).

Research interests: labour protection, information systems and technologies.

Author of 3 scientific publications.

MaJonik@yandex.ru

**Denis A. KORONCHIK** (1986), Postgraduate student of the Life Safety and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2008).

Research interests: improvement of working conditions of the transport and engineering factory workers, environmental protection.

Author of 7 scientific publications.

koronchic@mail.ru

**Levon L. TIRATSUYAN** (1986), Engineer of the Cast and Fancy Metal Working Department, Don State Technical University. He graduated from Don State Technical University (2008).

Research interests: labour protection of the engineering factory workers.

e-mail: llevon@mail.ru