

УДК 331.45

Г.В. БЕЛУШКИНА, Ю.И. БУЛЫГИН, Д.В. ДЕУНДЯК

## РАСЧЁТ НАКОПЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЁМЕ ПОМЕЩЕНИЯ ОБКАТКИ МАШИН В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Улучшение условий труда при воздействии вредных веществ на работников машиностроительных предприятий является актуальной задачей. Для правильного расчета вентиляции на участках обкатки сельхозмашин требуются надёжные данные о технологическом процессе. Существующие методики ориентированы на укрупнённые (годовые) выбросы, основанные на приближённых удельных показателях выбросов, определяемых для абстрактных источников загрязнения без учета их индивидуальных свойств и режимов работы. В работе предлагается уточненная методика прогнозирования состояния качества рабочей зоны в штатных и аварийных ситуациях, основанная на разработанных ранее авторами моделях, описывающих процессы образования и выделения выбросов от источника загрязнения.

**Ключевые слова:** вредные вещества, показатели выбросов, источник загрязнения, рабочая зона, прогнозирование качества воздуха, расчет воздухообмена, промышленная вентиляция.

**Введение.** Технологический цикл изготовления или ремонта машиностроительной техники завершается серийными испытаниями сборочной единицы, т.е. обкаткой машин. Эти испытания сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны с отработавшими газами (ОГ) различных вредных веществ: оксидов углерода ( $CO$ ), азота ( $NO_x$ ), альдегидов ( $R_xCOH$ ), сажи ( $C$ ), бенз(а)пирена (Б(а)П или  $C_{20}H_{12}$ ), паров дизельного топлива (ДТ), а также избытков теплоты. В работах [1-3] представлены разработанные авторами математическая модель эмиссии канцерогенов (бенз(а)пирена) и уточненная модель эмиссии оксидов азота. Разработанные модели, описывающие процессы образования и выделения вредных веществ от источника, позволяют прогнозировать состояние воздуха рабочей зоны в различных ситуациях, в том числе аварийных.

Статья посвящена расчетам накопления вредных веществ в замкнутом объеме помещения обкатки машин в штатном режиме работы и в аварийной ситуации. Эти расчеты проводились на примере обкаточного участка сборочного цеха ООО «КЗ «Ростсельмаш». На обкаточном участке предприятия расположены пять стендов, на которых обкатка производится в номинальном режиме, близком к максимальной мощности. Стенды снабжены местными системами вытяжной вентиляции (отсосами), а также системой общей вентиляции. После обкатки на стенде машина самоходом перемещается на пост заправки и проверки кондиционера. Эти посты не оборудованы местными отсосами. По техническому регламенту испытания сборочной единицы занимают от 45 минут и до нескольких рабочих смен в том случае, если обнаружены неисправности и несоответствия требованиям нормативов и стандартов.

**Уточненная методика расчетов штатной ситуации.** Для участка обкатки комбайнов ОАО «КЗ «Ростсельмаш» в соответствии с работой [4] максимально разовый выброс  $i$ -го вредного вещества  $G_i$  определяется только на нагрузочном режиме. Расчет производится по формуле

$$G_i = \frac{M_{срД} \cdot t_{ср} \cdot A_D (1 - \varphi_{ОГ})}{3600}, \text{ г/с}, \quad (1)$$

где  $M_{срД}$  - мощность выброса при обкатке на средней мощности комбайна, г/с;  $t_{ср}$  - время обкатки, с.;  $A_D$  - количество одновременно работающих стендов обкатки машин;  $\varphi_{ОГ}$  - эффективность отсоса.

Формула (1) для определения максимально разового выброса  $i$ -го вредного вещества  $G_i$  по разработанным моделям токсичности имеет вид

$$G_i = \frac{Q_{срОГ} \cdot C_{ср} \cdot t_{ср} \cdot A_D (1 - \varphi_{ОГ})}{3600}, \text{ г/с}, \quad (2)$$

где  $Q_{cp\ OГ}$  - объёмный расход ОГ двигателя комбайна при средней мощности обкатки, м<sup>3</sup>/с;

$C_{срi}$  - концентрация  $i$ -го вредного вещества в отработанных газах двигателя машины при обкатке на средней мощности.

Концентрации для бенз(а)пирена и оксидов азота вычислялись по математическим моделям [1] и [3]. Эффективность местного отсоса  $\varphi_{OГ}$  у обкаточного стенда в расчётах принимается 95%. Мощность выброса при обкатке, соответствующей средней мощности комбайна  $M_{срiД}$ , выбирается из таблиц методики [4]. Максимально разовые выбросы вредных веществ в рабочей зоне помещения обкатки комбайнов ACROS 530 с двигателями ЯМЗ-238ДК-1 согласно формуле (1):

$$G_{CO} = \frac{M_{срCOД} \cdot t_{ср} \cdot A_{Д} (1 - \varphi_{OГ})}{3600} = \frac{0.43 \cdot 60 \cdot 45 \cdot 5 \cdot (1 - 0.95)}{3600} = 0.0806 \text{ г/с};$$

$$G_{C_{20H_{12}}} = \frac{M_{срC_{20H_{12}}Д} \cdot t_{ср} \cdot A_{Д} (1 - \varphi_{OГ})}{3600} = \frac{0.65 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 45 \cdot 5 \cdot (1 - 0.95)}{3600} = 0.1219 \cdot 10^{-6} \text{ г/с}.$$

Аналогично получаем:

$$G_{NOx} = 0.06375 \text{ г/с}, \quad G_C = 0.01344 \text{ г/с}, \quad G_{CnHm} = 0.003375 \text{ г/с},$$

$$G_{RxCOH} = 0.0008625 \text{ г/с}, \quad G_{SOx} = 0.006356 \text{ г/с}, \quad G_{ДТ} = 0.00639 \text{ г/с}.$$

Время обкатки при средней нагрузке работающего комбайна в течение одного часа:

$$T_{раб}^{P3} = A_{Д} \cdot t_{ср} = 5 \cdot 45 \cdot 60 = 13500 \text{ с}.$$

Расчёт часового максимально разового выделения вредных веществ в рабочую зону при обкатке производится по формуле  $G_i^{час} = G_i \cdot T_{раб}^{P3}$ , г/ч.

$$G_{CO}^{час} = G_{CO} \cdot T_{раб}^{P3} = 0.0806 \cdot 13500 = 1088.1 \text{ г/ч},$$

$$G_{C_{20H_{12}}}^{час} = G_{C_{20H_{12}}} \cdot T_{раб}^{P3} = 0.1219 \cdot 10^{-6} \cdot 13500 = 0.001645 \text{ г/ч}.$$

Аналогично рассчитываются:

$$G_{NOx}^{час} = 0.06375 \cdot 13500 = 860.6 \text{ г/ч}, \quad G_{CnHm}^{час} = 0.003375 \cdot 13500 = 45.56 \text{ г/ч},$$

$$G_C^{час} = 0.01344 \cdot 13500 = 181.44 \text{ г/ч}, \quad G_{RxCOH}^{час} = 0.0008625 \cdot 13500 = 11.64 \text{ г/ч},$$

$$G_{SOx}^{час} = 0.006356 \cdot 13500 = 85.8 \text{ г/ч}, \quad G_{ДТ}^{час} = 0.00639 \cdot 13500 = 86.26 \text{ г/ч}.$$

Потребные расходы воздуха на общеобменную вентиляцию помещения обкатки определим из уравнения материального баланса:

$$L_{общ}^i = \frac{1000 \cdot G_i^{час}}{ПДК_{P3i} - 0.3 \cdot ПДК_{P3i}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3)$$

где  $ПДК_{P3i}$  - ПДК  $i$ -го вредных веществ в воздухе, удаляемом из рабочей зоны (например, для  $C_{20H_{12}}$  составляет 0,00015 мг/м<sup>3</sup>); 0.3  $ПДК_{P3i}$  - ПДК  $i$ -го вредного вещества в приточном воздухе (считается, что прилегающая к участку воздушная среда территории загрязнена на 30%), м<sup>3</sup>/ч.

$$L_{общ}^{C_{20H_{12}}} = \frac{1000 \cdot G_{C_{20H_{12}}}^{час}}{ПДК_{P3i} - 0.3 \cdot ПДК_{P3i}} = \frac{10^3 \cdot 0.001645}{0.00015 - 0.3 \cdot 0.00015} = 15667 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$\text{Аналогично рассчитываются: } L_{общ}^{NOx} = \frac{10^3 \cdot 860.6}{5 - 0.3 \cdot 5} = 245885.7 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad L_{общ}^C = 64800 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$L_{общ}^{CnHm} = 216.9 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad L_{общ}^{RxCOH} = 33257.1 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad L_{общ}^{SOx} = 12257.1 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad L_{общ}^{ДТ} = 410.76 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Суммарный потребный воздухообмен на общеобменную вентиляцию помещения обкатки при том, что все рассматриваемые вредные вещества обладают эффектом суммации, будет:

$$L_{\text{общ}}^{\Sigma'} = L_{\text{общ}}^{\text{CO}} + L_{\text{общ}}^{\text{CnHm}} + L_{\text{общ}}^{\text{NOx}} + L_{\text{общ}}^{\text{SOx}} + L_{\text{общ}}^{\text{C}} + L_{\text{общ}}^{\text{RxCOH}} + L_{\text{общ}}^{\text{ДТ}} + L_{\text{общ}}^{\text{C}_{20}\text{H}_{12}} = 449805.2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В соответствии с нормативными документами по расчету вентиляции эффекту суммации подлежат только оксиды углерода, азота и альдегиды:

$$L_{\text{общ}}^{\Sigma'} = L_{\text{общ}}^{\text{CO}} + L_{\text{общ}}^{\text{NOx}} + L_{\text{общ}}^{\text{RxCOH}} = 356864.2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Как видно из результатов расчёта (рис.1,2), наибольшая скорость накопления в воздухе рабочей зоны при обкатке комбайнов под нагрузкой относится к оксидам азота, что позволяет выбирать тип датчиков загазованности.

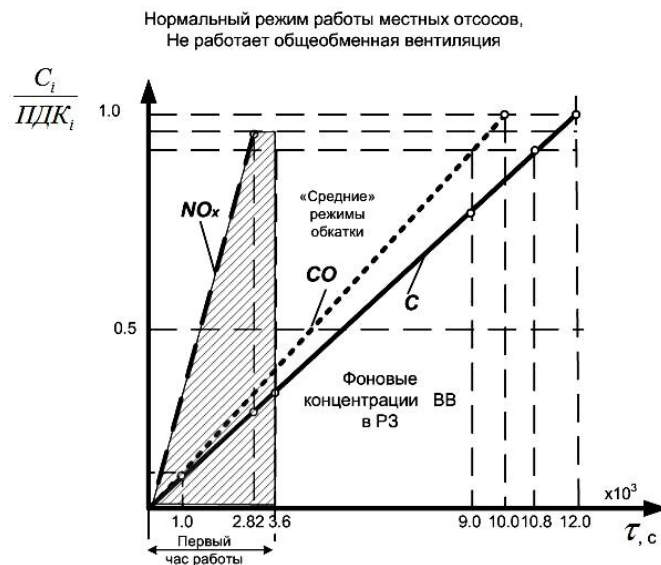


Рис.1. Изменение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны в штатном режиме при обкатке комбайнов на полной нагрузке

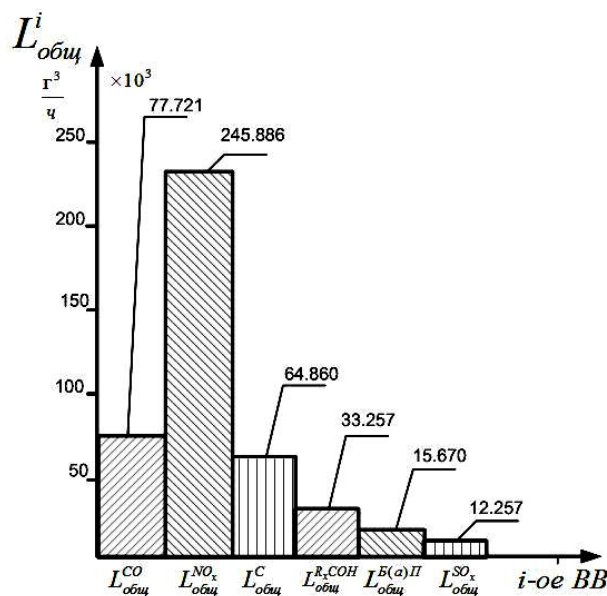


Рис.2. Потребные воздухообмены для участка обкатки комбайнов по *i*-му вредному веществу, выделяемому в воздухе рабочей зоны в штатном режиме работы

**Методика расчетов в аварийной ситуации.** Теперь рассмотрим случай, когда в «холодный» период года практически при отсутствии естественной вентиляции выходит из строя общеобменная вентиляция участка обкатки. Стенды обкатки загружены полностью, местная вентиляция функционирует.

Рассмотрим два случая, когда происходит разрыв одного местного отсоса при номинальном и среднем режиме нагрузки. На рис.3 представлено изменение концентрации вредных веществ в аварийной ситуации при обкатке комбайнов на номинальном режиме, на рис.4 – тот же аварийный сценарий, но при обкатке на среднем режиме. Расчеты проводились по формулам (2) и (3).

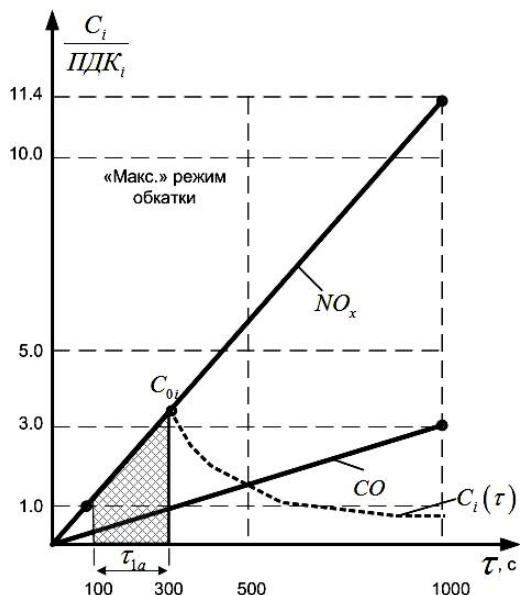


Рис.3. Изменение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны в аварийной ситуации при обкатке комбайнов на максимальном режиме

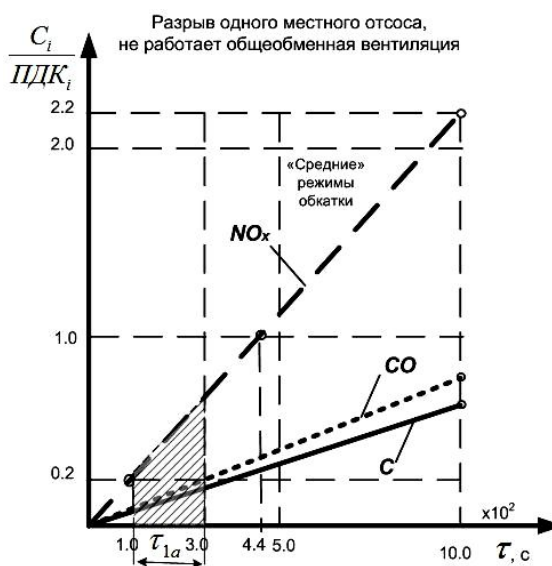


Рис.4. Изменение концентрации вредного вещества в воздухе рабочей зоны в аварийной ситуации при обкатке комбайнов на среднем режиме

В первом случае до момента отключения поврежденного оборудования (см.рис.3) в течение времени  $\tau_{1a} = [100,300]$  секунд в воздухе рабочей зоны происходит накопление вредных веществ (заштрихованная зона) и наблюдается значительное превышение ПДК<sub>рз</sub> по оксидам азота. Учитывая, что расчет накопления вредных веществ в рабочей зоне проведен без учета имеющихся фоновых концентраций на момент аварии, то загазованность по  $NO_x$  еще более значительна.

Для прогноза изменения концентраций вредного вещества в воздухе рабочей зоны при включении общеобменной (или аварийной) вентиляции использовалась модель рассеивания А.Н. Селиверстова [5]:

$$C_i(\tau) \frac{M_{ep}}{L_{np}} + C_{npi} - \left( \frac{M_{ep}}{L_{np}} + C_{npi} - C_{oi} \right) \cdot e^{-\frac{\tau L_{np}}{V_n}},$$

где  $C_i(\tau)$  – текущая концентрация i-го вредного вещества в воздухе рабочей зоны;  $C_{oi}$  и  $C_{npi}$  – начальная концентрация i-го вредного вещества в воздухе рабочей зоны и концентрация i-го вредного вещества в приточном воздухе;  $L_{np}$  – потребный воздухообмен на приточную вентиляцию;  $M_{ep}$  – выброс вредного вещества в единицу времени в рабочей зоне;  $V_n$  – свободный объем помещения.

Расчеты показали, что во втором случае (при средних режимах обкатки) превышения ПДК не наблюдается (см.рис.4).

**Заключение.** Таким образом, разработанные модели [1] и [3] позволяют прогнозировать качество воздуха рабочей зоны для участков обкатки машиностроительных предприятий, на основе этих моделей уточняются значения потребных воздухообменов для проектирования систем общеобменной вентиляции. Разработанная уточненная методика позволяет дать рекомендации к выбору типа датчиков загазованности для различных помещений, учитывающие особенности технологического процесса. Выявлено, что для участка обкатки комбайнов необходимо использовать датчики загазованности по диоксиду азота.

### Библиографический список

1. Белушкина Г.В. Об особенностях построения и исследования математической модели образования и сгорания бенз(а)пирена в двигателях тепловых машин / Г.В. Белушкина, Ю.И. Булыгин, Д.В. Деундяк // Интегро-дифференциальные операторы и их приложения: сб. науч. тр. / ДГТУ. – Ростов н/Д, 2008. Вып. 8. – С. 13-18.
2. Деундяк Д.В. Об исследовании математической модели образования и сгорания бенз(а)пирена для дизельных двигателей / Д.В. Деундяк // Интегро-дифференциальные операторы и их приложения: сб. науч. тр. / ДГТУ. – Ростов н/Д, 2008. Вып. 8. – С. 50-60.
3. Белушкина Г.В. Об уточненной математической модели образования и сгорания оксидов азота в дизелях тепловых машин / Г.В. Белушкина, Д.В. Деундяк // Материалы Международного Российско-Абхазского симпозиума «Уравнения смешанного типа и родственные проблемы анализа и информатики», 17-22 мая, Нальчик-Эльбрус. КБНЦ РАН, 2009. – С.164-165.
4. Удельные показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для ремонтно-обслуживающих предприятий и машиностроительных заводов агропромышленного комплекса. – М.: Машиностроение, 1992.
5. Селиверстов А.Н. Вентиляция фабрично-заводских помещений. Т.1. НКТП СССР, ОНТИ. – М.: Госстройиздат, 1934.

Материал поступил в редакцию 05.04.10.

**G.V. BELUSHKINA, Y.I. BULYGIN, D.V DEUNDYAK**

### **CALCULATION OF HARMFUL SUBSTANCES ACCUMULATION IN THE CLOSE AIRSPACE OF THE TESTS-ROOM MACHINES IN AN EMERGENCY**

Improvement of working conditions under the influence of harmful substances on the machine-building enterprises workers is an actual problem. Reliable data on the technological process for correct calculation of ventilation on the test sites of agricultural machines are required. Existing techniques are focused on the integrated (annual) emissions based on approximate specific indicators of emissions, calculated for abstract sources of pollution without taking into account their individual properties and operating modes. The specified technique of forecasting quality condition of the operating space in regular and emergency situations based on the models earlier developed by the authors that describe processes of forming and allocation of emissions from the pollution source is offered.

**Keywords:** harmful substances, emission indicators, pollution source, operating space, air quality forecasting, air exchange calculation, industrial ventilation.

**БЕЛУШКИНА Галина Викторовна**, старший преподаватель кафедры «Математика» ДГТУ. Окончила механико-математический факультет РГУ (ныне ЮФУ) (1971).

Область научных интересов: исследование разрешимости операторных уравнений и математическое моделирование в инженерной экологии.

Автор 20 научных работ.

**БУЛЫГИН Юрий Игоревич** (р. 1966), доктор технических наук (2007), профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» ДГТУ. 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.

**ДЕУНДЯК Дмитрий Владимирович** (р. 1981), инженер ООО «Медэлектронсервис», г.Ростов-на-Дону, кандидат технических наук (2009). Окончил факультет «Гуманитарный» ДГТУ (2003).

Область научных интересов: математическое моделирование в инженерной экологии, охрана труда в машиностроении.

Автор более 30 научных работ.

deundiak@inbox.ru