

$$k_{cs} = -0,135 + 0,195v + 0,0507\alpha - 0,0163v^2 + 0,0004v\alpha - 0,0008\alpha^2, \quad (8)$$

где  $\alpha$  – угол атаки приваливающего диска, град.

Ниже представлено уравнение регрессии (8) в кодированных значениях факторов:

$$Z = 1,065 - 0,0407x_1 + 0,2986x_2 - 0,1998x_1^2 + 0,0127x_1x_2 - 0,0772x_2^2, \quad (9)$$

где  $x_2$  – угол атаки приваливающего диска.

Анализ уравнения (9) показал, что угол атаки приваливающего диска оказывает большее влияние на коэффициент соответствия эталону, а его увеличение ведет к увеличению этого коэффициента.

Из графического представления поверхности отклика (рис. 4), характеризующей влияние скорости движения рабочего органа и угла установки приваливающего диска на коэффициент соответствия эталону, было установлено, что  $k_{cs}$  максимален при скоростях движения агрегата от 3 до 10 км/ч и угле установки диска в пределах 15-25°.

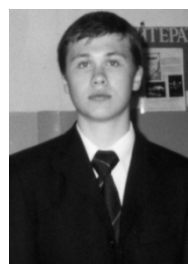
Для дальнейшего определения оптимальных параметров был проведен энергетический анализ на всех режимах работы. Установлено, что при скоростях от 3 до 7 км/ч сопротивление перемещению рабочего органа в почве растет незначительно, а при скоростях с 7 до 10 км/ч происходит резкий рост сопротивления. В результате нами была выбрана скорость 8 км/ч, так как при

меньшей скорости производительность низкая, а при скоростях выше 8 км/ч резко увеличивается сопротивление, вызывая соответствующий рост затрат на топливо-смазочные материалы.

После анализа влияния всех факторов на качество междурядной обработки и на энергетические показатели процесса было установлено, что для обеспечения оптимального режима работы предлагаемого рабочего органа пропашного культиватора скорость его движения должна составлять 8 км/ч, угол установки приваливающего диска – 18°, а перемещение диска в горизонтальной плоскости – 100 мм.

#### Библиографический список

1. Патент РФ на полезную модель № 82983. Рабочий орган культиватора / В.И. Курдюмов, В.П. Зайцев, Е.В. Софронов; Опубл. 20.05.2009 г.; Бюл. № 14.
2. Патент РФ на изобретение № 2406283. Рабочий орган культиватора / В.И. Курдюмов, Е.В. Софронов; опубл. 20.12.2010 г.; Бюл. № 35.
3. Алиев Т.А. Экспериментальный анализ – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
4. Курдюмов В.И. Разработка и исследование машин для механизации животноводства и их рабочих органов. – Ульяновск, 2002. – 159 с.



УДК 631:621.436:068.001.05

**А.Л. Новоселов,  
К.С. Боков**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ПРИВЕДЕННОГО НОРМООБЪЕМА ПРИ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СКЛАДАХ

**Ключевые слова:** индикатор, газовое загрязнение, склад, сельскохозяйственный, продукт, выбросы, газ, дизель, мобильный, машина.

#### Введение

Решение задачи создания безопасных условий труда в складах сельскохозяйственной продукции при механизации производственных процессов с использованием мобильных

машин связано с определением параметров рассеивания отработавших газов в помещениях.

**Цель и задачи:** показать концепцию и физическую сущность интегрированного индикатора загрязнения атмосферы сельскохозяйственного склада с выхлопными газами дизеля от мобильных машин: стандартный объем, характеризующий воздуш-

ное количество, необходимое для того, чтобы вредные выбросы дизеля разбавить воздухом до безвредной концентрации.

**Объекты и методы**

В качестве параметра оптимизации выступает показатель удельного приведенного нормообъема. Физический смысл последнего заключается в том, что он определяет количество чистого воздуха, необходимого для разбавления вредных выбросов двигателей до безвредных концентраций в воздухе производственных помещений. Для каждого компонента необходимо отдельно произвести расчет подъема факела выбросов над поверхностью. Такой расчет выполняется по выражениям Бозанке, приведенным в [1]. Расчеты производятся для определения приращений подъема факелов над средой трубы для каждого компонента:

$$\Delta H_{cf} = 4,77 / \left( 1 + 0,43 \frac{u}{v_s} \right) - \sqrt{Q_f v_s / \bar{u}} + 6,37 Q_f \Delta \left( \ln I^2 + \frac{2}{I} - 2 \right) / \bar{u}^2 \cdot T_{gr}; \quad (1)$$

$I = \bar{u}^2 (0,43 \sqrt{T_{gr}/g} \cdot G - 0,28 v_s/g \cdot T_{gr}/\Delta) / \sqrt{Q_f v_s} + 1$ , (2)  
 где  $Q_f$  – расход f-го компонента в м<sup>3</sup>/ч при температуре  $T_1$ , K;

$T_1$  – температура, при которой удельный вес всех компонентов и воздуха равен;

$v_s$  – скорость газа в устье трубы, м/с;

$\Delta$  – разность между температурами  $T_1$  и  $T_0$ ;

$G$  – вертикальный градиент температуры.

Для расчета высоты выброса сажи, приняв её условно за взвесь, используется зависимость Холланда:

$$\Delta H = (1,5 \cdot v_g \cdot d + 5,172 \cdot 10^{-5} \cdot g_n) / \bar{u}, \quad (3)$$

где  $g_n$  – теплопроизводительность, кВт;

$d$  – диаметр трубы, м.

В выражении для определения концентрации веществ в точке А необходимо определить коэффициент турбулентной вязкости. Этот коэффициент удастся рассчитать путем введения в место коэффициента кинематической вязкости  $\nu$  произведения коэффициента шероховатости на скорость трения для скорости воздуха  $\bar{u} = 0,5$  м/с на высоте 2 м. Тогда коэффициент турбулентной вязкости имеет вид:

$$K_{\mu} = k \cdot u_x \cdot z(z/z_0)^{\beta-1} = k^2 \cdot z^2 \cdot d \bar{u} / dz (z/z_0)^{2\beta-2}, \quad (4)$$

где  $\beta$  – адиабатический градиент,  $\beta = 1$ ;

$k$  – постоянная Кармана, принимается  $k = 0,4$  и учитывает длину смещения. Значения коэффициентов шероховатости поверхности и скорости трения  $Z_0$  и  $\bar{u}_x$  заимствованы из [1] и равны:  $Z_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ ,  $\bar{u}_x = 0,27$ .

Концентрация f-го компонента отработавших газов в точке с координатами  $x, y, z$  для четырехтактного дизеля:

$$C_f(x, y, z) = \frac{K_{\mu} \cdot G_f \cdot V_{gr}}{\pi \cdot Su_y \cdot Su_z \cdot \bar{u} \cdot x^{(2-r)}} \exp \left[ -\frac{1}{x^{(2-r)}} \left( \frac{y^2}{Su_y^2} + \frac{(z+H)^2}{Su_z^2} \right) \right]. \quad (5)$$

Концентрация f-того компонента отработавших газов у поверхности почвы в точке максимальной концентрации:

$$C_f^{max} = \frac{K_{\mu} \cdot G_f \cdot V_{gr}}{\pi \cdot Su_y \cdot Su_z \cdot \bar{u} \cdot x^{(2-r)}} \exp \left[ -\frac{1}{x^{(2-r)}} \left( \frac{y^2}{Su_y^2} + \frac{H^2}{Su_z^2} \right) \right]. \quad (6)$$

Для сажи (ТЧ) максимальная концентрация у почвы определяется выражением, г/м<sup>3</sup>:

$$C_c^{max} = \frac{10,9 \cdot G_{of} \cdot V_{gr}}{\pi \cdot Su_y \cdot Su_z \cdot \bar{u} \cdot x^{(2-r)}} \exp \left[ -\frac{1}{x^{(2-r)}} \left( \frac{y^2}{Su_y^2} + \frac{(H - \frac{\pi \cdot V_{gr}}{\pi})^2}{Su_z^2} \right) \right]. \quad (7)$$

Задача определения загрязнения решается путем расчетов площадей эллипсов пятен, ограниченных концентрациями вредных веществ, превышающих ПДК от центра максимальных концентраций.

Теперь путем совмещения координат и положения эллипсов осаждения вредных веществ можно вводить и коэффициенты бинарности при оценке токсичности отработавших газов.

Распространение токсичных веществ в помещениях с ограниченным воздухообменом имеет свои особенности. Такими помещениями в сельскохозяйственном производстве являются теплицы, парники, животноводческие комплексы, склады, зернохранилища. Рекомендуется применять выражения, связывающие начальные концентрации, количество подаваемого воздуха для вентиляции, объем помещения, время работы двигателя в нем, г/м<sup>3</sup>:

$$C_f^r = \frac{(C_f^H - 1000 \cdot G_{orf} / M_B)}{\exp(-M_B / V_n \cdot \tau) + G_{orf} / M_B}, \quad (8)$$

где  $C_f^H$  – начальная концентрация f-того токсичного вещества;

$M_B$  – количество подаваемого системой вентиляции воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$G_{orf}$  – выбросы токсичного вещества, кг/ч;

$V_n$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Концентрацию токсичного вещества с учетом времени эксплуатации дизеля в помещении можно описать:

для двигателя без наддува, г/м<sup>3</sup>:

$$C_f^H = \left( C_f^H - \frac{4,148 \cdot 10^{-2} \cdot G_T \cdot T_O \cdot (\alpha + 0,0675)}{M_B \cdot P_O} \right) \cdot \exp\left(-\frac{M_B \cdot \tau}{V_n}\right) + \frac{4,148 \cdot 10^{-2} \cdot G_T \cdot T_O \cdot (\alpha + 0,0675)}{M_B \cdot P_O \cdot C_f^{-1}}; \quad (9)$$

для двигателя с турбонаддувом, г/м<sup>3</sup>:

$$C_f^H = \left( C_f^H - \frac{4,148 \cdot 10^{-2} \cdot G_T \cdot T_K \cdot (\alpha + 0,0675)}{M_B \cdot P_K} \right) \cdot \exp\left(-\frac{M_B \cdot \tau}{V_n}\right) + \frac{4,148 \cdot 10^{-2} \cdot G_T \cdot T_K \cdot (\alpha + 0,0675)}{M_B \cdot P_K \cdot C_f^{-1}}. \quad (10)$$

Для тракторов, автомобилей, работающих в атмосфере, рассеивание R<sub>p</sub> рассчитывается в зависимости от скорости ветра, а в животноводческих помещениях – от скорости воздуха, на высоте 10 м, высоты трубы h<sub>r</sub> над поверхностью почвы, учитывая, что коэффициент разбавления вредных веществ в приземном слое (до 10 м) составляет π<sub>p</sub> = 2,00, средняя скорость воздуха  $\bar{u} = 0,5$  м/с.

Для неподвижных источников:

$$R_p = \bar{u}(\pi_p \cdot h_r + 20)/2,5. \quad (11)$$

Для мобильных машин в движении предложено индивидуально учитывать коэффициенты рассеивания для каждого из веществ по выражению [2]:

$$\bar{R}_{pf} = \exp(A \cdot C_f / C_{fmax} + B), \quad (12)$$

где C<sub>fmax</sub> – максимальная концентрация f-го компонента ОГ вблизи почвы;

C<sub>f</sub> – концентрация f-го компонента ОГ на выходе из трубы;

A и B – коэффициенты, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

*Коэффициенты для определения рассеивания вредных компонентов ОГ в атмосфере*

Компоненты ОГ	Коэффициенты в выражении (12)	
	A	B
Оксиды азота	0,1822 · 10 <sup>-5</sup>	1,3860
Оксид углерода	0,03 83 · 10 <sup>-3</sup>	1,3001
Углеводороды	0,0442	1,3146
Сажа	0,07442 · 10 <sup>-5</sup>	1,3572

Расчет максимальных концентраций вредных веществ ведется по выражениям, г/м<sup>3</sup>:

для токсичных веществ:

$$C_{fmax} = \frac{15,0328 \cdot 10^{-2} \cdot K_{Tf} \cdot (\alpha + 0,0675) \cdot G_T \cdot T_K \cdot C_f}{P \cdot S_{uy} \cdot S_{uz} \cdot \pi \cdot P_K \cdot \sqrt{g} \cdot x^{2-\tau}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{x^{2-\tau}} \left( \frac{y^2}{S_{uy}^2} + \frac{H^2}{S_{uz}^2} \right)\right]; \quad (13)$$

для сажи (т.ч.), г/м<sup>3</sup>:

$$C_{fmax} = \frac{15,0328 \cdot 10^{-2} \cdot K_{Tf} \cdot (\alpha + 0,0675) \cdot G_T \cdot T_K \cdot C_f}{P \cdot S_{uy} \cdot S_{uz} \cdot \pi \cdot P_K \cdot \sqrt{g} \cdot x^{2-\tau}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{x^{2-\tau}} \left( \frac{y^2}{S_{uy}^2} + \frac{H^2}{S_{uz}^2} \right)\right]; \quad (14)$$

где K<sub>T</sub> – коэффициент турбулентной вязкости;

x, y, z – координаты точки максимальной концентрации;

τ – коэффициент атмосферной стратификации;

S<sub>uy</sub>, S<sub>uz</sub> – коэффициенты Сеттона, характеризующие местную турбулентность атмосферы;

H – высота подъема струи ОГ, м;

f<sub>p</sub> – скорость осаждения сажи, м/с.

Величина условных выбросов вредных веществ в атмосферу дизелем рассчитывается по выражению:

$$M_{OG} = \sum_{f=1}^f A_f \cdot m_f \cdot \psi_f, \text{ т/г}, \quad (15)$$

где, по расчетам автора, с учетом существующих ПДК для каждого из f компонентов отработавших газов по выражению:

$$A_f = \sqrt{\frac{\text{ПДК}_{\text{губ}} \cdot \text{ПДК}_{\text{вдох}}}{\text{ПДК}_{\text{губ}} \cdot \text{ПДК}_{\text{вдох}}}} \quad (16)$$

были получены значения коэффициентов агрессивности основных нормируемых по выбросам веществ:

A<sub>CO</sub> = 1; A<sub>NOx</sub> = 49; A<sub>CH</sub> = 1,26; A<sub>Tч</sub> = 41,5;

A<sub>БАП</sub> = 12,6 · 10<sup>3</sup>; A<sub>SO2</sub> = 22; A<sub>пары масел</sub> = 28,4.

Расчет годовых выбросов f-го компонента производится для дизелей без наддува по выражению [4] т/год:

$$m_f = 15,03 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{T_O \cdot T_K}{P_O \sum_{m=1}^m G_{Tm} (\alpha_m + 0,0675) \cdot \tau_m \cdot C_{fm}}; \quad (17)$$

для дизелей с газотурбинным наддувом:

$$m_f = 15,03 \cdot 10^{-12} \cdot T_r \sum_{m=1}^m G_{Tm} \frac{T_{Km}}{P_{Km}} (\alpha_m + 0,0675) \cdot \tau_m \cdot C_{fm}, \quad (18)$$

где T<sub>O</sub>, T<sub>K</sub> – температура окружающей среды и температура после компрессора, К;

P<sub>O</sub>, P<sub>K</sub> – давление окружающей среды и давление после компрессора, МПа;

T<sub>r</sub> – средняя годовая продолжительность эксплуатации гусеничной машины, ч:

T<sub>r</sub> = 1350 ч/год;

τ – количество характерных режимов;

G<sub>Tm</sub> – часовой расход топлива на m-том режиме эксплуатации;

C<sub>fm</sub> – выбросы f-того вещества на m-том режиме, г/м<sup>3</sup>;

α<sub>r</sub> – коэффициент избытка воздуха на r-том режиме эксплуатации.

В формуле (15) остается неопределенным коэффициент ψ<sub>f</sub> увеличения опасности

одних веществ в присутствии других, однонаправленных по воздействию на организм человека. Учитывая, что в составе отработавших газов присутствует до 1200 компонентов, по данным литературы определены следующие значения  $\psi_f$  (табл. 2).

Таблица 2  
Данные о компонентах помещений при использовании МТА для механизации процессов

Компоненты атмосферы	Коэффициент бинарности $\psi_f$
Оксид углерода	1,55
Углеводороды (к $\text{CH}_4$ )	1,33
Оксиды азота	3,00
Сажа (тч)	1,30

Параметр оптимизации – удельный приведенный нормообъем:  
для дизелей без наддува:

$$U_{\text{пр}} = \frac{4,148 \cdot 10^{-3} \cdot T_0}{\sum_{m=1} N_{\text{ем}} \cdot P_0} \sum_{f=1}^f \frac{\psi_f}{[C_f]} \sum_{m=1}^m G_{\text{ТМ}} \cdot c_{\text{fm}} \cdot \tau_{\text{m}} \cdot (\alpha_{\text{m}} + 0,0675); \quad (19)$$

для дизелей с газотурбинным наддувом:

$$U_{\text{пр}} = \frac{4,148 \cdot 10^{-3}}{\sum_{m=1} N_{\text{ем}}} \sum_{f=1}^f \frac{\psi_f}{[C_f]} \sum_{m=1}^m \frac{T_{\text{км}} \cdot G_{\text{ТМ}}}{P_{\text{км}}} \cdot (\alpha_{\text{m}} + 0,0675) \cdot c_{\text{fm}} \cdot \tau_{\text{m}}. \quad (20)$$



Таким образом, выражение (5) представляется моделью рассеяния отработавших газов в атмосфере помещения.

### Заключение

Показано, что с учетом массообмена воздуха в складах сельскохозяйственной продукции параметрами оптимизации могут выступать максимальные концентрации вредных веществ в атмосфере и удельные нормообъемы, рассчитанные с учетом используемой мобильной техники.

### Библиографический список

1. Детри Ж.П. Атмосфера должна быть чистой. – М.: Прогресс, 1973. – 379 с.
2. Мельберт А.А. Повышение экологической безопасности поршневых двигателей: монография. – Новосибирск: Наука, 2003. – 170 с.
3. Стопорева Т.А., Новоселов А.Л. Методика оценки распространения в атмосфере и на поверхности почв токсичных веществ, выбрасываемых с отработавшими газами дизеля // Вестник АГАУ. – 2010. – № 5. – С. 57-61.
4. Новоселов А.Л., Мельберт А.А., Жуйкова А.А. Снижение вредных выбросов дизелей / под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова. – Новосибирск: Наука, 2007. – 139 с.

УДК 681.7.069.32

Д.О. Суринский,  
А.Г. Возмилов,  
Ю.Н. Варфоломеев

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОЛОВУШКИ

**Ключевые слова:** светоловушка однощелевая, мониторинг численности и вида насекомых вредителей, светодиод, геометрические параметры.

### Введение

Известны конструкции светоловушек – трехконфузорная, трехщелевая и однощелевая (патент № 85799, № 97245) для мониторинга численности и видов насекомых. Наиболее эффективной в работе была однощелевая светоловушка. Рассмотрен вопрос методики расчета основных геометрических параметров светоловушки [1, 2].

На рисунке 1 представлен общий вид светового пучка, испускаемого однощелевой светоловушкой в пространстве, выполненный с помощью компьютерного моделирования.

Анализ конструкции однощелевой светоловушки показал, что к основным ее геометрическим параметрам относятся высота светоловушки  $d_1$ , радиус светоловушки  $r$ , угол  $\alpha$  между вертикальными стенками улавливающего жерла светоловушки. Выясним, отчего зависит видимость светодиодов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, следовательно, объем эффективного улавливания насекомых.