

СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧЕСКОГО ФОНА В КАБИНЕ АГРЕГАТА

М.М. Юрков^{1*}

¹Ярославская Государственная Сельскохозяйственная Академия, Ярославль, Россия

DECREASING OF THE TOXICITY IN THE CABIN OF THE DEVICE

M.M. Yurkov (Yaroslavl State Agricultural Academy, Yaroslavl, Russia)

Резюме. В статье приведены результаты исследований загрязненности воздуха в герметизированных кабинах агрегатов при производстве химической обработки растений. Предложены технические решения по совершенствованию кабины как защитной оболочки от наружного воздуха, содержащего пыль и токсические вещества.

Abstract. In the article the results of investigations of air pollution in the hermetic cabins of the devices are given at of the chemical processing of plants. Technical solutions for improving the cabin as a protective shell from outside air containing dust and toxic substances are proposed.

Ключевые слова: загрязненность воздуха, токсические вещества, обработка растений, концентрацию вредных веществ.

Keywords: air pollution, toxic substances, processing of epy plants, concentration of harmful substances.

**Михаил Михайлович Юрков, профессор, доктор технических наук, Ярославская Государственная Сельскохозяйственная Академия, Ярославль, Россия, e-mail: yurcov@bk.ru*

Поступила в редакцию: 12 Января 2017

Проблема защиты оператора от воздействия химических препаратов не решена полностью. Известные фирмы, выпускающие тракторы, не оборудуют кабины средствами защиты от ядохимикатов, ограничиваются устройствами очистки приточного воздуха от пыли.

В соответствии с проведенным анализом существующих средств защиты от ядохимикатов обозначим основные требования, которым должны отвечать эти средства:

- снижать концентрацию вредных веществ на рабочем месте механика-водителя до безопасного уровня;
- не оказывать влияния на физиологические функции организма: терморегуляцию, дыхание, подвижность;
- не препятствовать выполнению технологической операции и не снижать ее качество.

Одним из средств защиты рабочего места от проникновения ядохимикатов является герметизация кабины. Герметичность характеризуется величиной избыточного давления воздуха в кабине, создаваемого вентилятором системы нормализации микроклимата, а также

величиной «эквивалентного отверстия». «Эквивалентное отверстие»-это условное отверстие круглой формы, расход воздуха через которое равен расходу воздуха через все неплотности кабины, при одинаковых перепадах давления между кабиной и окружающей средой.

Известна формула [1] для расчета концентрации примеси вещества во встречном потоке воздуха, обдувающим источник. Применим эту формулу для оценки дозы ядохимикатов, поступающих в рабочую зону.

$$g = g_o \cdot e^{-\frac{vx}{A}} \quad (1)$$

g_o - концентрация примеси в источнике (в факеле опрыскивателя), мг/м³;

v - скорость встречного потока воздуха (скорость движения МТА относительно неподвижного воздуха), м/с;

x - расстояние от источника примесей до исследуемой точки (расстояние от сопла до рабочей зоны), м;

A - коэффициент турбулентного обмена.

В данном случае следует сделать ограничение по использованию только диффузной составляющей, тогда $A=0,05 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Токсический фон на рабочем мечте формируется из испаряющихся капель раствора ядохимиката [1], количество которого в аэрозольной фазе пропорционально содержанию его в капле рабочего раствора в момент попадания ее в рабочую зону к начальному содержанию ядохимикатов в капле, т.е.

$$\frac{C_a}{C_{\text{сум}}} = ZQ \frac{V_{np,t}}{V_{np,o}} \quad (2)$$

где C_a – концентрация аэрозольной фазы ядохимиката;

$C_{\text{сум}}$ – суммарная концентрация ядохимиката;

$V_{np,t}$ и $V_{np,o}$ – объемы препарата в капле рабочей жидкости, соответственно, в момент попадания ее в рабочую зону и в момент вылета из сопла опрыскивателя;

Z – постоянная, зависящая от скорости и направления ветра. При попутном ветре $Z>1$, при встречном ветре $Z<1$;

Q – постоянная для данного типа опрыскивающего аппарата.

При прочих равных условиях, время, необходимое для перемещения капель из зоны факела распыла в рабочую зону пропорционально времени десиментации капель с высоты расположения сопла опрыскивателя на обрабатываемые кусты $t_{\text{дес}}$. Поэтому при расчетах $V_{np,t}$ можно положить, что $t=t_{\text{дес}}$, а соответствующую поправку включить в Q [2].

Зависимость объема химического препарата в капле от времени выражается преобразованной формулой Дунского Н.Ф., полученной на основании уравнения Максвелла для скорости испарения капли [1].

$$V_{np,t} = \left(\sqrt[3]{V_{np,o}^2 - \frac{2}{3} A_v t} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

где A_v - постоянная испарения

$$A_v = \frac{4\pi D(C_0 - C_\infty)}{\rho} \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \quad (4)$$

где D - коэффициент молекулярной диффузии паров препарата;

C_0 и C_∞ – концентрация паров, соответственно, у поверхности капли и в удалении от поверхности испарения;

ρ - плотность жидкой фазы препарата.

Для определения времени десиментации $t_{дес}$ воспользуемся законом Стокса и с учетом (3) запишем снижение капли в дифференциальном виде:

$$dh = v \cdot dt = a \left(V_0^{\frac{2}{3}} - \frac{2}{3} A_v t \right) dt \quad (5)$$

где

$$a = \frac{g}{18\eta} \rho \sqrt[3]{\frac{36}{\pi^2}} \quad (6)$$

где – g - ускорение свободного падения; ρ - вязкость воздуха.

Выражение (3) имеет расширение для уточнения результата

$$h_{t>\tau} = at \left(V_0^{\frac{2}{3}} - \frac{A_v t}{3} \right) \quad (7)$$

Индекс b в последнем равенстве означает, что расчете A_v применяются константы для воды.

$$h_{t>\tau} = a V_{np.o}^{\frac{2}{3}} t \quad (8)$$

Время полного испарения воды из капли τ ограничивающие области определения выражений (7) и (8) определяется равенством:

$$\tau = \frac{3(V_0 - V_{np.o})^{\frac{2}{3}}}{2A_v b} \quad (9)$$

где V_0 - начальный объем капли.

Определение времени десиментации капель (рис.1) по формулам (7) и (8) позволяет оценить периоды активизации фактора по отношению к рабочему месту.

При наличии в кабине двухконтурной очистки воздуха в системе приточной вентиляции (первый контур) и дополнительного средства очистки воздуха, устанавливаемого в кабине (второй контур) очистка воздуха в зоне дыхания оператора (рис. 2) обеспечивается с требуемой эффективностью для работ с применением сильно действующих ядовитых веществ (СДЯВ). Вместе с СДЯВ на оператора воздействуют пыль, выхлопные газы, испарения нефтепродуктов, электролита и газов, выделяемых аккумуляторной батареей, продукты выделения синтетических веществ материалами, используемыми в качестве мягкой обивки салона,

сиденья, а также изоляции электропроводов, трубок пневмо- и топливной систем, которые можно обобщить в группу вредных веществ (ВВ), они могут рассматриваться как вторичные источники, не доступные для очистки первым контуром. Концентрация ВВ в воздухе рабочей зоны зависит от эффективности работы очистных систем первого и второго контура, а также от концентрации ВВ находящихся в поступающем воздухе снаружи и внутри кабины. Рассмотрим эффективность двухконтурной очистки от ВВ, в частности, от ядохимикатов применяемы для дефолиации хлопчатника.

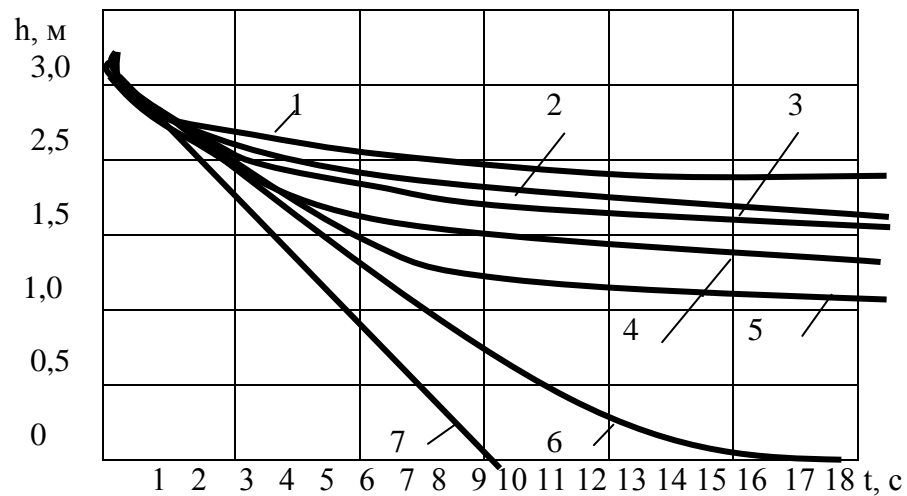


Рис. 1. Кривые десиментации капель рабочей жидкости при опрыскивании.
Относительная влажность воздуха:
1 – 35%, 2 – 45%, 3 – 55%, 4 – 65%, 5 – 75%, 6 – 85%, 7 – 100%.

Коэффициент очистки воздуха первым контуром K_1 в аналитическом виде, работающего по приточной схеме с производительностью по воздуху L , определяется соотношением:

$$K_1 = \frac{C_{нар} - C_{вых}}{C_{нар}}, \quad (10)$$

где $C_{нар}$ – концентрация ВВ в наружном воздухе (на входе первого контура), $мг/м^3$; $C_{вых}$ – концентрация ВВ на выходе первого контура. Тогда

$$C_{вых1} = C_{нар} (1 - K_1). \quad (11)$$

Второй контур, работающий по рециркуляционной схеме, с производительностью по воздуху L_2 , имеет коэффициент очистки K_2 :

$$K_2 = \frac{C - C_{вых2}}{C}, \quad (12)$$

то есть

$$C_{вых2} = C(1 - K_2), \quad (13)$$

где $C_{вых2}$ – концентрация ВВ на выходе из второго контура, $мг/м^3$; C – концентрация ядохимикатов в кабине, $мг/м^3$.

При работе первого контура по истечении некоторого времени устанавливается в кабине концентрация ядохимикатов, определяемая формулой (11). В результате работы приточной вентиляции с производительностью по воздуху L_1 в кабине устанавливается избыточное давление $P_{изб}$, а избыточный воздух выходит через неплотности, причем, объемная скорость выхода воздуха будет пропорциональна производительности системы приточной вентиляции.

Очистка воздуха через второй контур доводит кабинный воздух до высокой степени очистки в режиме рециркуляции. Следует иметь ввиду, что в кабине находятся источники вторичного загрязнения воздуха, которые необходимо учитывать при определении ресурса работы очистительных элементов второго контура очистки.

Скорость снижения концентрации ВВ, а также установившаяся концентрация C в кабине в результате одновременной работы обоих контуров будет зависеть от $C_{нар}$, L_1 , K_1 , L_2 , K_2 , V_k , где V_k - объем кабины.

Подставим эту зависимость в виде функции

$$C = f(C_{нар}, L_1, K_1, L_2, K_2, V_k) \quad (14)$$

Наблюдения динамики концентрации ВВ за эталонный интервал времени dt , полагаем, что к началу рассматриваемого материала содержание ВВ составляет CV .

За интервал времени изменяется содержание ВВ в кабине: в результате выбора внутрикабинного воздуха с концентрацией C вторым контуром первоначальное содержание составит:

$$M_1 = C(V_k - L_2 dt) \cdot \quad (15)$$

Первый контур внесет в кабину за элементарный интервал dt следующее количество ВВ:

$$M_2 = C_{нар} (1 - K_1) L_1 dt \cdot \quad (16)$$

В воздухе прошедшем через второй контур количество ВВ составит

$$M_3 = CL_1 dt \quad (17)$$

Учитывая содержание ВВ после прохождения первого (15) и второго контура (17) очистки можем выразить изменение концентрации в кабине за dt

$$dC = \frac{C_{нар} (1 - K_1) L_1 dt - C (K_2 L_2 + L_1) dt}{V_k} \quad (18)$$

Решение этого дифференциального уравнения дает функцию, которая описывает динамику изменения концентрации ВВ в кабине при различных параметрах системы [1].

$$C = \frac{C_{нар} (1 - K_1) L_1}{K_2 L_2 + L_1} \left(1 - e^{-\frac{K_2 L_2 + L_1}{V_k}} \right) + C_{нар} (1 - K_1) e^{-\frac{K_2 L_2 + L_1}{V_k}} \quad (19)$$

Уравнение (19) не содержит величин, характеризующих способ достижения параметров L_1 , K_1 , L_2 , K_2 , V_k следовательно, является универсальным, так как может быть использовано для обоснования

параметров любых устройств очистки приточного и рециркулирующего воздуха в кабине. При этом кабина может быть оборудована охладителем как хладонового, так и испарительного (ВТ-400) типа.

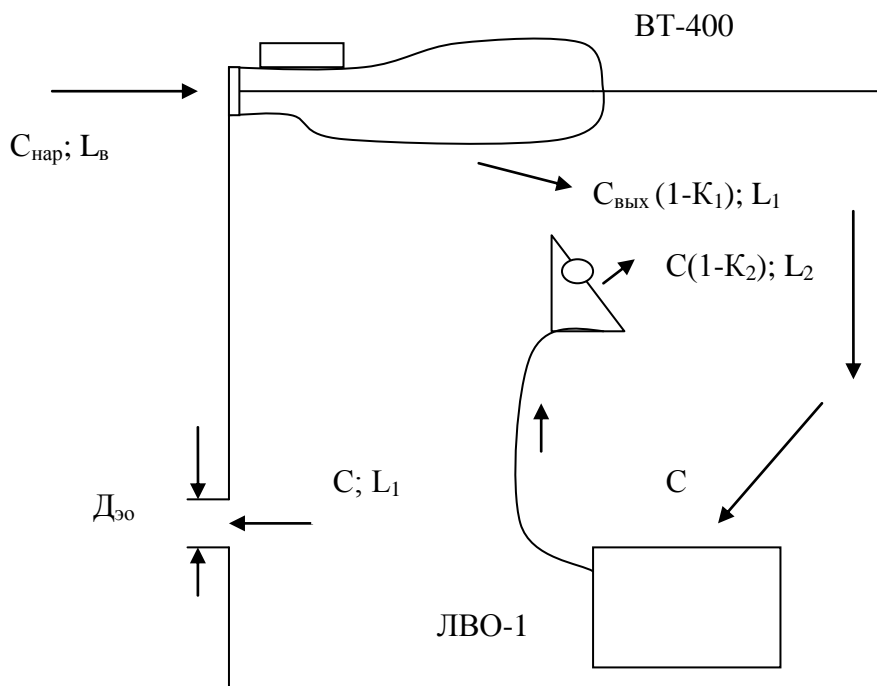


Рис. 2. Схема двухконтурной очистки воздуха в кабине агрегата занятого на химической обработке сельскохозяйственной культуры

На рисунке 3 представлены графики функции (19) при различной производительности первого контура L_1 . Графики позволяют определить каждую установившуюся концентрацию ВВ в кабине и время выхода системы в стационарный режим.

Установившуюся концентрацию ядохимикатов в кабине можно определить также аналитически. Для этого полагаем, что $t \rightarrow \infty$, тогда

$$C = \frac{C_{нар}(1-K_1)L_1}{K_2L_2 + L_1} \quad (20)$$

Из равенства (20) следует, что снижения ВВ в рабочей зоне можно достигать различными путями: рациональным выбором зоны забора наружного воздуха (с минимальной $C_{нар}$), уменьшением подачи наружного воздуха в кабину L_1 , повышением коэффициента очистки контуров K_1 и K_2 , увеличением производительности рециркуляции L_2 .

Коэффициент очистки первого контура.

Поскольку наружный воздух содержит ВВ в виде аэрозоля и паров, то коэффициент очистки K_1 первого контура, определенный в (10) можно представить в следующем виде:

$$K_1 = \frac{(C_{нар.а} + C_{нар.п}) - (C_{вых.а} - C_{вых.п})}{C_{нар.а} - C_{нар.п}} \quad (21)$$

где $C_{нар.а}$ и $C_{нар.п}$ – концентрация ВВ в наружном воздухе, соответственно, аэрозоля и паров, $мг/м^3$; $C_{вых.а}$ и $C_{вых.п}$ – концентрация на выходе из первого контура аэрозоля и паров, соответственно, $мг/м^3$. Первый контур не очищает от паров, тогда $C_{нар.п} = C_{вых.п}$ и выражение (10) преобразовывается в соответствии со свойствами первого контура очистки.

$$K_1 = \frac{C_{нар.а} - C_{вых.а}}{C_{нар.а} + C_{нар.п}} \quad (22)$$

Максимальный коэффициент очистки первого контура $K_{1\max}$ можно определить, допуская, что $C_{вых.а} = 0$:

$$K_{1\max} = \frac{C_{нар.а}}{C_{нар.а} + C_{нар.п}} \quad (23)$$

даже в случае полного поглощения аэрозоля коэффициент $K_1 < 1$ и в реальных условиях не превышает 0,7-0,8.

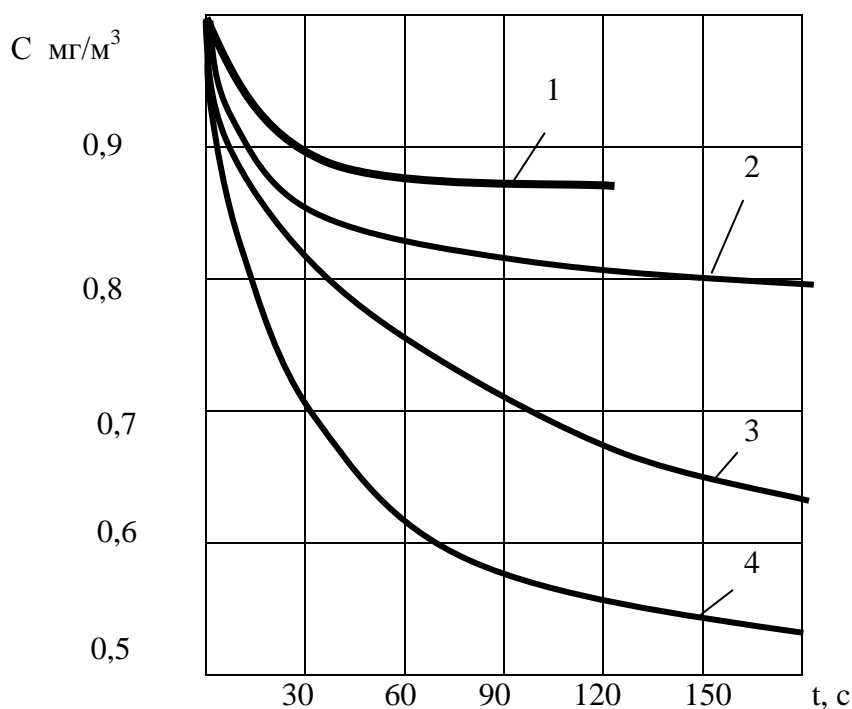


Рис. 3. Динамика изменения концентрации ядохимикатов в кабине при включении двухконтурной системы очистки воздуха при различной производительности вентилятора ВТ-400: 1- $L_1=400$; $L_1 = 300$; $L_1 = 100$; $L_1=50$ $м^3/ч$.

Коэффициент очистки второго контура.

Очистку рециркулирующего воздуха от паров ВВ можно осуществить посредством сорбции паров активированным углем $K_2 = 1$. Возможность повышения коэффициента K_2 ограничена фазовым составом токсических загрязнений, а резерв снижения концентрации ядохимикатов в кабине за счет увеличения K_2 исчерпан. Производительность приточной вентиляции L_1 в соответствии с

$$L = D_{эо} \sqrt{\frac{P_{изб}}{0,977}}, \quad (24)$$

где $D_{эо}$ – диаметр эквивалентного отверстия, м²; $P_{изб}$ – избыточное давление, Па; (зависит от степени уплотнения кабины и нижний предел L_1 лимитируется техническим уровнем изготовления герметичной кабины).

Производительность второго контура L_2 лимитируется ограниченностью ресурса фильтрующего элемента. Важным вопросом при рассмотрении вторичных источников загрязнения воздуха является процесс накопления ВВ в кабине. При химической обработке растений тракторным опрыскивателем происходит накопление ядохимикатов в кабине благодаря проникновению их вместе с воздухом и пылью, а также приносимой загрязненной почвой в кабину.

Рассмотрим динамику изменения концентрации ВВ с витанием загрязненной пыли, осевшей на внутренних поверхностях кабины. Значимость вторичных источников загрязненности в кабине от скорости испарения A или подъема твердых частиц в воздух, площади внутренних поверхностей кабины S , объем кабины V_k , производительность приточной вентиляции L_1 во времени t .

При отсутствии приточной вентиляции происходит линейный рост концентрации ВВ в кабине.

$$C_t = C_0 + A \cdot S \cdot t \quad (25)$$

где C_0 – начальная концентрация, мг/м³. При наличии приточной вентиляции с поступлением не загрязненного воздуха концентрация ВВ падает, изменение происходит следующим образом: в начальный момент t_0 содержание ВВ в кабине составляет $C_0 \cdot V_k$; за промежуток времени t в кабину внесено следующее количество ВВ $A \cdot S \cdot t$; и ранее содержащиеся ВВ в кабине и внесенные испарением за время t «растворились» в объеме воздуха кабины $V_k + L_1 \cdot t$. Таким образом, концентрация ВВ в кабине через время t составит:

$$C = \frac{C_0 V_k + A S t}{V_k + L_1 t} \quad (26)$$

Анализ уравнения (26) показывает, что при $t \rightarrow \infty$ концентрация ВВ в кабине $C_{см}$ стремится к постоянной величине, не зависящей от начальной концентрации C_0 и объема кабины V_k :

$$C_{см} = \frac{AS}{L_1} \quad (27)$$

Постоянная испарения A , необходимая для практических расчетов, может быть определена по формуле (25) при исследовании динамики расчета токсического фона в кабине без приточной вентиляции:

$$A = \frac{C_t - C_0}{St} \quad (28)$$

В работе [2] определена скорость испарения бутифоса $A_6 = 0,75 \cdot 10^{-10}$ кг/м²·с при поверхностной плотности отложения ядохимикатов $25 \cdot 10^{+8}$ кг/м². Можно предположить, что скорость испарения препарата пропорциональна поверхностной плотности отложений и летучести препарата. Тогда скорость испарения препарата применяемого A_n при плотности отложения B_n можно определить по формуле:

$$A_n = A_6 K \frac{B_n}{0,75 \cdot 10^{-10}}, \quad (29)$$

где K – коэффициент пересчета, равный отношению летучести применяемого препарата к летучести бутифоса.

Расчетный скорости испарения фосфорорганических соединений в кг/м²·с при плотности отложения $25 \cdot 10^{-8}$ кг/м² имеет следующие значения [2]: метилмеркаптофос $3,75 \cdot 10^{-10}$ кг/м²; октаметил $7,1 \cdot 10^{-10}$ кг/м²; фосфамид $0,0757 \cdot 10^{-10}$ кг/м². Эти параметры ограничивают производительность приточной вентиляции L_1 , которая определяет токсический фон в кабине. Учитывая периодическую разгерметизацию кабины (рис.4) токсический фон возрастает и с притоками очищенного воздуха снижается, но не достигает требуемых значений ПДК, что требует использования локального воздухоочистителя или противогаза.

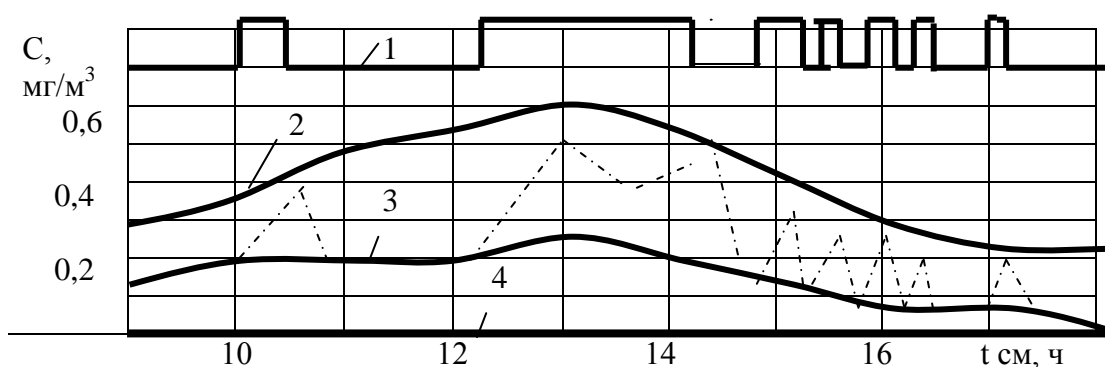


Рис. 4. Концентрация бутифоса в унифицированной кабине при дефолиации в течение рабочей смены: 1-режим герметизации, 2- концентрация бутифоса вне кабины, 3-в кабине, 4-ПДК (пунктиром показана динамика концентрации ВВ при разгерметизации кабины).

Наличие интенсивных потоков в объеме кабины провоцируют возникновение вторичных источников загрязнения воздуха. Наряду с испарением отложившихся ядохимикатов в воздух поднимается пыль, которая включает почвенные и растительные составляющие. Вместе с тем пыль содержит неразложившиеся ядохимикаты, топливосмазочные

материалы, продукты горения. Сочетания загрязнений не всегда представляют изученную и установленную степень опасности для человека. Очевидно, что защита от вредного воздействия загрязненного воздуха на рабочем месте должна осуществляться комплексно.

Проведенные исследования унифицированной кабины трактора Т-28Х4МА показали эффективность предложенных и реализованных мер по нормализации воздуха в кабине.

Унифицированная кабина герметизирована, где особое внимание уделялось уплотнению всех видов неплотностей: рычажных, коммутационных, технологических. В исследуемой кабине были применены изобретения, защищенные авторскими свидетельствами и патентами.

Дверной проем герметизировался лабиринтным уплотнителем (а.с. 1135676) [3]. Выводы рычагов управления были уплотнены лепестковыми, многослойными уплотнителями. Коммутационные неплотности (выводы трубок и проводов) герметизировались мастиками, как и технологические неплотности, которые образовались вследствие не точной подгонки сопряженных деталей кабины.

В кабине было установлено устройство [4], представляющее собой конструкцию (рис.5), позволяющую очищать в автоматическом режиме пол кабины, где концентрируется значительная часть отложений ВВ и почвы приносимой с обувью оператора. Эти отложения формируют активность вторичных источников.

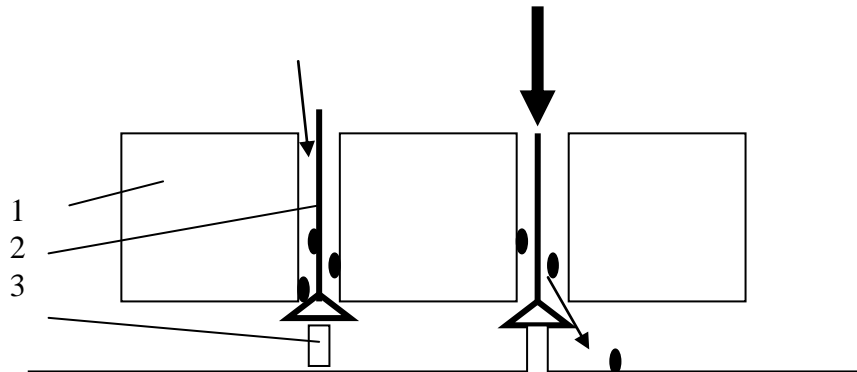


Рис. 5. Самоочищающийся пол кабины.

Самоочищающийся пол кабины состоит из основы 1, кнопок-клапанов 2, запирающих пружин 3. В конических отверстиях находятся кнопки-клапаны 2, под давлением пружин 3. В полость поступают отложения и накапливаются до того, как оператор наступит ногой на кнопку, вследствие чего она утопает, открывается отверстие вниз, и отложения удаляются из кабины. Загрязнители, находящиеся в полости 4, имеют значительно меньшую поверхность испарения и способность подниматься под действием воздушных потоков, создаваемых системой вентиляции, в объем кабины. Устройство, (патент РФ № 2029686) [5], уплотняет вводы рычагов и способствует герметизации кабины. Это

позволяет избежать попадания загрязнителей в воздух рабочей зоны и увеличивать ресурс работы очистителей второго контура очистки.

Результаты проведенных экспериментов на химической обработке растений приведены в таблице 1, где показаны преимущества усовершенствованной кабины.

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что для снижения вредных веществ в воздухе рабочей зоны машинно-тракторных агрегатов занятых на внесении ВВ, необходимо ограничивать производительность приточной вентиляции, устранять забор загрязненного воздуха в местах, где концентрация ВВ минимальна. Следует повышать степень очистки воздуха первым и вторым контуром, увеличивать производительность рециркуляции и ресурс очистных элементов, устранять вторичные источники загрязнения.

Таблица 1. Показатели свойств кабин по очистки воздуха от ВВ

Показатели	Кабина		ПДК
	усовершенствованная	серийная	
Концентрация пыли в наружном воздухе, мг/м ³	74	72	-
Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	7,1	73	10
Концентрация бутифоса в наружном воздухе, мг/м ³	0,38	0,46	-
Концентрация бутифоса в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	0,32	0,45	0,2
Концентрация бутифоса в зоне дыхания (под маской ЛВО-1), мг/м ³	не обнаружено	0,27	0,02
Температура воздуха в рабочей зоне, °С	25	23	31

Выводы.

Усовершенствования унифицированной кабины, направленные на защиту оператора от воздействия загрязненного воздуха позволили существенно снизить концентрацию ВВ в воздухе рабочей зоны по пыли- на 60 мг/м³, по бутифосу – на 0,14 мг/м³.

Улучшение эргономических свойств унифицированной кабины обеспечивает защиту оператора машинно-тракторного агрегата от вредных веществ в воздухе на рабочем месте, обусловленных технологическими операциями в сельскохозяйственном производстве.

Литература

1. Дунский В.Ф., Никитин Н.В., (1975) Монодисперсные Аэрозоли, Москва, Наука, с.156.
2. Сайченко Я.Н., Фролов А.А., Супрун А.С., Искандеров Т.И., (1982) Применение приточной вентиляции вредных веществ в кабине трактора при химической обработке хлопчатника, *Механизация Хлопководства*, 6, с.15.

3. Сдвижная дверь транспортного средства. А.с. № 1135676 СССР, МКИ В60У 5/06. Фролов А.А., Юрков М.М. Бюл., № 3, 1985 с.5.
4. Кабина транспортного средства (уплотнители). Патент РФ №2029686 МКИ В60 Н 1/00. Юрков М.М., Шкрабак В.С. и др. Бюл., №6, 1995, с.4.
5. Кабина транспортного средства (полик). Патент РФ № 2045436 МКИ В62 Д 33/06. Юрков М.М., Шкрабак В.С. и др. Бюл., № 28, 1995, с.3.