

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 658.345:631.8

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ И ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОМ КОНТАКТНОМ ВНЕСЕНИИ ПЕСТИЦИДОВ НА РАСТЕНИЯ

В.Л. МИСУН*(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Усовершенствована конструкция и улучшены условия труда при эксплуатации технического средства для контактного внесения пестицидов на растения. Разработана математическая модель, устанавливающая зависимость показателя превышения допустимого уровня подачи пестицида на контактируемый с растениями валец технического средства от его режимов работы.

Ключевые слова: *безопасность, условия труда, техническое средство, пестициды, растительность.*

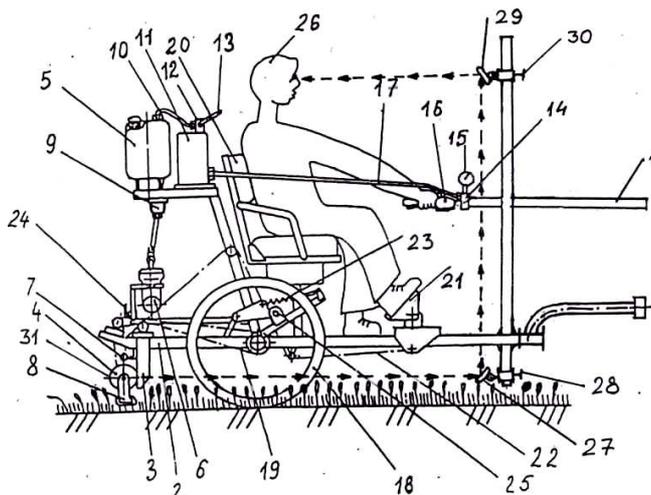
Введение. Анализ состояния проблемы производственной безопасности процесса внесения пестицидов в сельскохозяйственном производстве показал, что в связи с сокращением пахотных земель и ростом численности населения объем использования пестицидов в мире будет возрастать. Применение средств защиты растений (пестицидов) от сорняков, болезней и вредителей, например, при промышленном выращивании плодов и ягод, является одним из факторов интенсификации и важным резервом увеличения производства плодовой годной продукции, поэтому вопросы уменьшения вредного воздействия на производственную среду токсичных компонентов, используемых для защиты растений промышленных плантаций, остаются актуальными. К тому же обработка растений пестицидами сопровождается выделением в воздух рабочей зоны химических веществ, создаются концентрации, опасные для работников. Так, по данным Всемирной организации здравоохранения и Международной организации труда, пестициды становятся причиной более 10% всех производственных травм в сельском хозяйстве. Опрыскивание, опыливание растений пестицидами являются по существу генераторами загрязнения производственной среды. О неуправляемости процесса попадания, например, капель распыливаемой жидкости на растения, свидетельствуют результаты применения авиации, генераторов аэрозоля, вентиляторных и штанговых опрыскивателей, которые характеризуются стеканием крупных капель размером более 350 мкм с листовой поверхности на землю или сносом капель размером менее 80 мкм за пределы поля [1]. А если принять во внимание, что промышленные плодовой годные плантации во многих случаях практически примыкают к населенным пунктам, то такие методы использования агрохимикатов неприемлемы.

Основная часть. В современных условиях может быть востребованой только та техника, которая при условиях производственной безопасности и экологической чистоты обеспечивает максимальный экономический эффект. Чем меньше техника загрязняет окружающую среду и при ее эксплуатации соблюдаются необходимые условия труда, чем дороже обходятся изготовителю специальные компоненты. Тем не менее, считаем важным напомнить о приоритете безопасности персонала и защиты окружающей среды в вопросах экономической выгоды.

Для повышения качества, эффективности и безопасности механизированного внесения раствора пестицида на растения нами усовершенствовано техническое средство [2; 3] (рисунок 1), агрегируемое с мотоблоком, содержащее установленные на раме бачок для рабочего раствора, валец с возможностью его вращательного движения, на поверхности которого закреплен ворсистый канат, кран системы подачи раствора пестицида к вальцу, включающей поплавковую камеру и распределительную полиэтиленовую трубу, опорные колеса, сидение, педаль установки высоты вальца, систему уравнивания усилия педали, а также лоток для сбора капель пестицида. Между бачком для рабочего раствора и поплавковой камерой установлен фильтр. При этом верхняя часть бачка соединена воздухопроводом с краном системы подачи сжатого воздуха, состоящей из соединенного с воздухопроводом ресивера и распределительной коробки с присоединенными к ней манометром и воздухонагнетательной грушей с перепускным клапаном одностороннего действия. Вся контактная поверхность вальца выполнена в виде сетки из хлопчатобумажных нитей. Для управления подъемом или опусканием вальца относительно обрабатываемой растительности установлена система зеркал.

Во время движения опорные колеса технического средства с помощью цепной передачи приводят во вращение валец, который, касаясь своей внешней поверхностью расположенные выше растений сорняки, подвергает их воздействию пестицидом. Внешняя поверхность вальца, выполненная в виде сетки, способствует минимизации скатывания капель раствора вниз, повышая качество и производительность выполнения

технологического процесса. Сорняки на различных участках поля произрастают неравномерно как по густоте, так и по высоте, поэтому оператор мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ), наблюдая за текущим положением вальца относительно верхней части сорняков, оперативно корректирует положение вальца относительно поверхности поля с помощью педали, воздействуя пропитывающим его гербицидом на верхушки сорняков, не задевая при этом культурные растения. Одновременно он, по необходимости, дополнительно нагнетает воздух до требуемого уровня сжатия согласно показаниям манометра. Во время холостого хода или стоянки ручка переключения переводится в положение для прекращения поступления раствора гербицида к вальцу, капли пестицида, не впитавшиеся в покрытую хлопчатобумажной сеткой ворсистую поверхность вальца, собираются лотком. Управляя движением агрегата, оператор МСХТ одновременно контролирует с помощью системы зеркал положение вальца относительно сорной растительности на различных участках поля.



1 – мотоблок; 2 – рама; 3 – кронштейн; 4 – валец; 5 – бачок; 6 – поплавковая камера; 7 – распределительная полиэтиленовая труба с отверстиями; 8 – лоток для сбора капель пестицида; 9 – фильтр; 10 – воздухопровод; 11 – ресивер; 12 – кран системы подачи сжатого воздуха; 13 – ручка переключения; 14 – распределительная коробка; 15 – манометр; 16 – воздухомангнетательная груша; 17 – воздухопровод; 18 – опорные колеса; 19 – цепная передача; 20 – сидение; 21 – педаль; 22 – цепь; 23 – система уравновешивания педали; 24 – кран системы подачи раствора пестицида к вальцу; 25 – палец; 26 – оператор МСХТ; 27 – нижнее зеркало; 28 – винт; 29 – верхнее зеркало; 30 – винт; 31 – сетка из хлопчатобумажных нитей

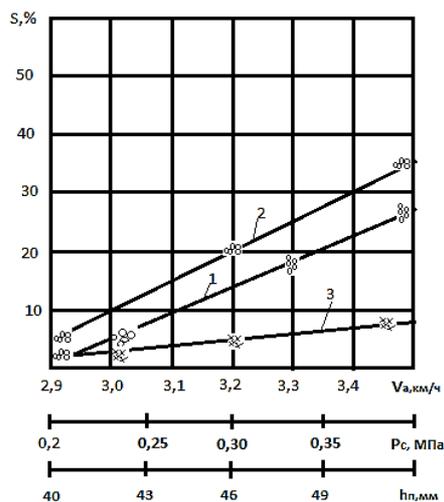
Рисунок 1. – Техническое средство для безопасного контактного внесения раствора пестицида на растения

К работе с рассматриваемым техническим средством допускаются лица, имеющие соответствующую квалификацию, изучившие санитарные правила по хранению, транспортировке и применению пестицидов (ядохимикатов) и прошедшие соответствующий инструктаж по технике безопасности. Обслуживающий такую технику персонал должен быть обеспечен средствами для защиты органов дыхания и зрения.

Для защиты органов дыхания предлагается противоаэрозольный респиратор, на конструкцию которого получен патент [4], содержащий полумаску из сорбционно-фильтрующего материала с обтюратором, регулятором и оголовьем, которое присоединено с двух сторон с помощью эластичного шнура к полумаске. Обтюратор в верхней его части имеет эластичное сеточное полотно, позволяющее охватить поверхности головы и ушей работника, что практически устраняет попадание вредных веществ в виде аэрозолей внутрь.

Для защиты органов зрения при обращении с пестицидами предлагается патентное решение конструкции респиратора [5], включающее фильтрующе-поглощающую систему из пакета эластичных фильтрующего и сорбирующего материалов. Корпус фильтрующей маски соединен с очками, а также резиновым обтюратором и подмасочником. Изоляция подмасочного пространства от окружающей среды в лобной и подбородочной частях обеспечивается конструктивными элементами (двумя симметричными складками) и специальной конструкцией очков с пружинными наружными зажимами и возможностью установки на их наружной поверхности линз различных диоптрий в соответствии со степенью пониженности функции зрения работника. Служащий для разделения зоны видимости и дыхания и обеспечивающий незапотеваемость очков резиновый подмасочник предотвращает как увлажнение фильтрующего и сорбирующего материала выдыхаемым воздухом, так и накопление диоксида углерода. Для индивидуального подбора респиратора проводится его инструментальная проверка.

Для обеспечения безопасной эксплуатации разработанного технического средства была поставлена задача обосновать требуемые для этого режимы его работы. Согласно результатам проведенных экспериментальных исследований в качестве критерия для оценки безопасности контактного внесения раствора пестицида на растения использован показатель превышения допустимого уровня подачи жидкости на валец ($S_{ж}$), а наиболее существенными факторами, влияющими на выполнение этого технологического процесса, являются: скорость движения технического средства (v_a), давление в трубопроводе нагнетательной системы подачи жидкости на валец (P_c) и высота ее подачи из отверстий трубопровода на валец (h_n) (рисунок 2).



- 1 – от скорости движения технического средства v_a ($P_c = 0,2$ МПа; $h_n = 50$ мм) ;
- 2 – давления в трубопроводе нагнетательной системы подачи жидкости на валец P_c ($v_a = 3$ км/ч; $h_n = 50$ мм) ;
- 3 – высоты подачи жидкости на валец h_n ($v_a = 3$ км/ч; $P_c = 0,2$ МПа)

Рисунок 2. – Зависимость показателя превышения допустимого уровня подачи жидкости ($S_{ж}$) на валец технического средства для контактного внесения раствора пестицида на растения

Анализ результатов предварительных исследований показал, что для описания рассматриваемого процесса целесообразно использовать уравнение регрессии следующего вида:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{12} \cdot x_{12} + a_{13} \cdot x_{13} + a_{23} \cdot x_{23}, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

В опытах реализован полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^3 (таблица 1). Уровни, кодовые значения и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 2.

Таблица 1. – Матрица планирования эксперимента. Результаты эксперимента

№ опыта	Планирование эксперимента			Опытные данные			Результаты эксперимента			
	x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_j	S_j^2	Y^p	$(\bar{Y}_j - Y^p)^2$
1	-1	-1	-1	2,84	2,80	2,84	2,83	0,0025	2,76	0,0049
2	1	-1	-1	14,05	14,02	14,06	14,04	0,0025	13,90	0,0196
3	1	1	-1	24,26	24,24	24,20	24,23	0,0049	24,06	0,0289
4	1	1	1	25,88	25,85	25,82	25,85	0,0036	25,72	0,0169
5	-1	1	1	14,63	14,64	14,61	14,63	0,0009	14,58	0,0025
6	-1	-1	1	4,46	4,44	4,43	4,44	0,0009	4,40	0,0016
7	-1	1	-1	12,46	12,40	12,42	12,43	0,0049	12,34	0,0081
8	1	-1	1	3,26	16,22	16,26	16,25	0,0025	16,12	0,0169
							$\sum \bar{Y}_j = 114,70$	$\sum_{j=1}^N S_j^2 = 0,0227$	$\phi = \sum (\bar{Y}_j - Y^p) = 0,0994$	

Таблица 2. – Уровни и интервалы варьирования факторов

Обозначение факторов	x_1	x_2	x_3
Варьируемый фактор	V_a	P_c	h_n
Единица измерения	км/ч	МПа	мм
Основной уровень ($x = 0$)	3,2	0,3	47
Интервал варьирования	0,1	0,1	2,5
Нижний уровень ($x = -1$)	2,9	0,2	42
Верхний уровень ($x = 1$)	3,5	0,4	52
Формулы для перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$x_1 = \frac{V_a - 3,2}{0,1}$, $V_a = 0,1 \cdot x_1 + 3,2$	$x_2 = \frac{P_c - 0,3}{0,1}$, $P_c = 0,1 \cdot x_2 + 0,3$	$x_3 = \frac{h_n - 47}{2,5}$, $h_n = 2,5 \cdot x_3 + 47$

В результате статистической обработки опытных данных установлено:

а) все восемь выборочных дисперсий (S^2) однородны по критерию Кохрена:

$$G_s < G_{n-1;N;p},$$

где G_s – экспериментальное значение критерия Кохрена,

$$G_s = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} = \frac{0,0049}{0,0227} = 0,216;$$

$G_{n-1;N;p}$ – критическое значение критерия Кохрена при числе степеней свободы $f_{числ.} = n - 1$, $f_{знам.} = N$ и доверительной вероятности $p = 0,95$ [6],

$$G_{n-1;N;p} = G_{2;8;0,95} = 0,516;$$

б) с учетом того, что все выборочные дисперсии однородны, дисперсия воспроизводимости и число ее степеней свободы (f) рассчитываются по следующим формулам:

$$S_{воспр.}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N} = \frac{0,0227}{8} = 0,0028;$$

$$f = N \cdot (n - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16;$$

в) коэффициенты уравнения регрессии (1) рассчитаны [7] как

$$a_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{Y}_j}{N}, \quad (2)$$

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot \bar{Y}_j}{N}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (3)$$

$$a_{is} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot x_{sj} \cdot \bar{Y}_j}{N}, \quad i, s = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4)$$

и равны

$$a_0 = 14,337; \quad a_1 = 5,755; \quad a_2 = 4,948; \quad a_3 = 0,955; \quad a_{12} = 0,015; \quad a_{13} = 0,020; \quad a_{23} = 0,011;$$

г) доверительный интервал (Δa) для всех коэффициентов уравнения регрессии равен

$$\Delta a = t_{N(n-1);p} \cdot \sqrt{\frac{S_{воспр.}^2}{n \cdot N}},$$

где $t_{N(n-1);p}$ – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы и доверительной вероятности $p = 0,95$ ($t_{мабл.} = t_{N(n-1);p} = t_{16;0,95} = 1,746$) [8],

$$\Delta a = 1,746 \cdot \sqrt{\frac{0,0028}{3 \cdot 8}} = 0,019.$$

Из рассчитанных значений коэффициентов уравнения регрессии значимы пять коэффициентов – $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{13}$, т.к.

$$\Delta a < |a_i|, (i = 0; 1; 2; 3) \text{ и } \Delta a < |a_{13}|, (i, S = 0; 1; 2; 3; i < S);$$

д) полученное уравнение регрессии адекватно, т.к. $F_9 < F_{табл.}$,

где $S_{a0}^2 = \frac{n \cdot \Phi}{f_{a0}}$, $f_{a0} = N - B$, B – число значимых коэффициентов уравнения регрессии.

Тогда

$$S_{a0}^2 = \frac{3 \cdot 0,0994}{8 - 5} = 0,103;$$

$$F_9 = \frac{S_{воспр.}^2}{S_{a0}^2} = \frac{0,0028}{0,103} = 0,272;$$

$$F_{табл. [8]} = F_{N(n-1); N-B; p} = F_{16; 3; 0,95} = 3,24.$$

Таким образом, уравнение (1) в нормированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$Y = 3,337 + 5,755 \cdot x_1 + 4,948 \cdot x_2 + 0,955 \cdot x_3 + 0,020 \cdot x_1 \cdot x_3. \quad (5)$$

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов декодируем уравнение (5), используя данные таблицы 2:

$$Y = -179,231 + 53,79 \cdot V_a + 49,48 \cdot P_c + 0,126 \cdot h_n + 0,08 \cdot V_a \cdot h_n. \quad (6)$$

Анализ выражения (5) показывает:

а) наилучший результат, минимальное значение показателя превышения допустимого уровня подачи раствора пестицида ($S_{ж}$) на валец технического средства для контактной обработки растений, достигается при $x_1 = -1, x_2 = -1, x_3 = -1$ и равен $S_{ж, \min} = 1,7\%$;

б) скорость движения технического средства (x_1) имеет более существенное влияние на безопасность контактного внесения раствора пестицида на растения, чем другие рассматриваемые факторы x_2 и x_3 . Об этом свидетельствуют значения регрессионных коэффициентов в полученном уравнении (5):

$$x_1 = 5,755 > x_2 = 4,948 > x_3 = 0,955.$$

Закключение. Анализ полученной математической модели (6), рекомендуемой для оценки безопасности механизированного контактного внесения раствора пестицида на растения (для борьбы с болезнями, сорняками, вредителями), показал, что наиболее рациональными режимами работы технического средства являются следующие: скорость движения 2,9 км/ч, давление в трубопроводе нагнетательной системы и высота подачи раствора пестицида на валец соответственно 0,2 МПа и 42 мм. Соблюдение этих режимов работы технического средства способствует минимальным потерям агрохимиката, оцениваемым в 1,69% от допустимого регламентируемого уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киреев, И.М. Научные основы совершенствования технологий протравливания, посева семян и опрыскивания растений / И.М. Киреев. – М. : Росинформатех, 2011. – 370 с.
2. Устройство для контактного внесения гербицидов, агрегатируемое с мотоблоком : пат. ВУ 12722 / Л.В. Мисун, В.Л. Мисун, В.А. Агейчик. – Оpubл. 30.12.2008.
3. Устройство для контактного внесения гербицидов, агрегатируемое с мотоблоком : пат. ВУ 11648 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, В.А. Агейчик, В.В. Азаренко, В.Л. Мисун, И.Н. Мисун. – Оpubл. 30.04.2018.
4. Респиратор для защиты органов дыхания оператора мобильной сельскохозяйственной техники : пат. ВУ 12071 / А.Л. Мисун, О.Г. Агейчик, Л.В. Мисун, В.А. Агейчик, В.В. Азаренко, В.Л. Мисун, И.Н. Мисун, В.А. Иванушкина, И.М. Морозова. – Оpubл. 30.08.2019.
5. Респиратор для защиты органов дыхания и зрения работников агропромышленного комплекса от воздействия вредных веществ : пат. ВУ 12362 / А.Л. Мисун, О.Г. Агейчик, Л.В. Мисун, А.Г. Кузнецов, В.А. Агейчик, В.В. Азаренко, В.Л. Мисун, А.В. Гаркуша, В.А. Иванушкина. – Оpubл. 30.08.2020.

6. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.
7. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск : БГАТУ, 2010. – 276 с.
8. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1980. – 610 с.

Поступила 04.12.2020

**IMPROVEMENT OF WORKING CONDITIONS AND SAFETY
DURING MECHANIZED CONTACT APPLICATION OF PESTICIDES TO PLANTS**

V. MISUN

The design has been improved and working conditions have been improved during the operation of technical equipment for contact application of pesticides to plants. A mathematical model has been developed that establishes the dependence of the indicator of exceeding the permissible level of pesticide supply to the roll of technical equipment in contact with plants on its operating modes.

Keywords: *safety, working conditions, technical means, pesticides, vegetation.*