

УДК 632.95:631.95

ЗАЩИТА ФАКЕЛА РАСПЫЛА ПЕСТИЦИДА ОТ СНОСА ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

О.В. ГОРДЕЕНКО¹, И.С. КРУК², Е.В. ПОСЛЕД²¹ Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Республика Беларусь² Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Предложена конструкция устройства защиты факела распыла при проведении технологической операции внесения гербицидов ленточным методом при обработках в ветреную погоду. Представлены результаты теоретических и лабораторных исследований ветрозащитного устройства и даны рекомендации для его использования в конструкции культиватора–опрыскивателя.

Химическая обработка растений сопровождается непроизводительными потерями пестицида. Основные потери происходят из-за сноса капель распыленной рабочей жидкости из зоны обработки ветром. Устранить данные потери особенно важно при совмещении операций посева (посадки) или междурядной обработки с ленточным внесением гербицидов в защитную зону растений. Снижение потерь раствора гербицидов при обработках в ветреную погоду достигается путем защиты факела распыла специальным ветрозащитным устройством.

В качестве ветрозащитного устройства используется плоская решетка, представляющая собой систему пластин, конгруэнтно смещенных вдоль прямой M_1M_2 , называемой осью решетки (рис. 1).

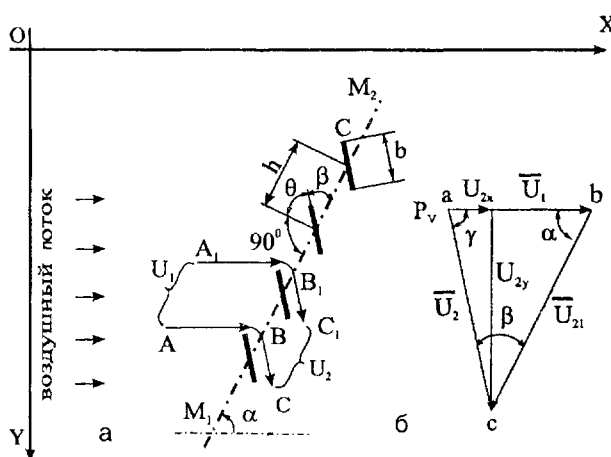


Рис. 1. Расчетная схема ветрозащитной решетки:
а — схема установки решетки;
б — общий вид плана скоростей

Решетка позволяет не только изменить скорость действующего на нее воздушного потока, но и повернуть этот поток на угол β установки пластин к оси решетки (рис. 1а). Воздушный поток представим как состоящий из отдельных равных между собой трубок тока, обтекающих пластины по линиями тока ABC и $A_1B_1C_1$ [1]. Характер изменения скорости воздушного потока при обтекании пластин решетки определяется теоремой сложения скоростей:

$$\overline{U}_2 = \overline{U}_1 + \overline{U}_{21}, \quad (1)$$

где \overline{U}_1 и \overline{U}_2 — вектора скоростей линий тока воздушного потока перед и за решеткой;

\overline{U}_{21} — вектор отклонения скоростей линий тока от первоначального направления.

Взаимосвязь между векторами уравнения (1) нетрудно установить по теореме синусов, если его решение представить графически в виде плана скоростей (рис. 1б):

$$U_2 = U_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}; \quad (2)$$

$$U_{21} = U_1 \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta}, \quad (3)$$

где α — угол установки оси M_1M_2 решетки;
 β — угол поворота пластин относительно оси M_1M_2 .

Для оценки воздействия воздушного потока, сформировавшегося за решеткой, на факел распыленной жидкости разложим вектор скорости \overline{U}_2 , определяемый уравнением (1), по координатным осям (рис. 1а, б):

$$U_{2x} = U_2 \cos \gamma = U_1 \left[1 - \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta} \cos \alpha \right]; \quad (4)$$

$$U_{2y} = U_2 \sin \gamma = U_1 \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \beta} \sin \alpha, \quad (5)$$

где γ — угол между векторами скорости \overline{U}_1 и \overline{U}_2 .

По физической сущности проекция вектора U_{2y} , определяемая уравнением (5), направлена вдоль оси OY и способствует быстрейшему осаждению капель. Величина сноса капель из факела распыла определяется уравнением (4). Из анализа уравнения (4) следует, что если:

1) $\gamma = 180 - (\alpha + \beta) < \pi/2$, то $U_{2\%} > 0$, и капли жидкости будут сноситься из зоны обработки в сторону движения воздушного потока;

2) $\alpha = \pi/2$ (ось решетки установлена перпендикулярно направлению движения воздушного потока), то $U_{2\%} = U_1$, и при любых значениях угла $\beta > 0$ установки пластин эффективность ветрозащитной решетки равна нулю;

3) $\gamma = 180 - (\alpha + \beta) > \pi/2$, то $U_{2\%} < 0$, и капли жидкости будут перемещаться в сторону ветрозащитной решетки при любой скорости воздушного потока, что подтверждается экспериментальными исследованиями;

4) $\beta = \pi/2$ (пластины установлены перпендикулярно оси решетки), то $U_{2\%} = U_1 \cdot \sin^2 \alpha < U_1$, и интенсивность сноса капель из зоны обработки будет определяться только углом α наклона оси решетки;

5) $\beta = 0$, то при любых значениях угла $0 < \alpha < \pi/2$ установки решетки, горизонтальная $U_{2\%}$ и вертикальная U_{2Y} составляющие скорости воздушного потока достигают величины большей, чем скорость воздушного потока перед решеткой, и факел распыленной жидкости будет смещен в сторону решетки.

Приведенный анализ показывает, что при определенном соотношении между углами α и β за ветрозащитной решеткой можно создать условия для распыливания жидкости, удовлетворяющие агротехническим требованиям по химической защите растений, даже при скорости ветра перед решеткой, превышающей установленные ограничения.

Ветрозащитные показатели решетки определяются не только углами установки α и β , но и густотой решетки δ [2]:

$$\delta = \frac{b}{h}, \tag{6}$$

где b и h – соответственно ширина пластин и шаг их установки, м.

Экспериментальными исследованиями [2] установлено, что жалюзийные решетки сельскохозяйственных машин с густотой решетки $\delta = 1,0 \dots 1,05$ обладают наилучшими аэродинамическими свойствами по равномерности распределения воздушного потока за решеткой и наименьшего давления набегающего потока на пластины.

Густоте решетки, определяемой формулой (6), соответствует бесчисленное множество конструктивных решений. Для выбора геометрических параметров решетки необходимо согласовать ее размеры с технологическим процессом. Применительно к технологии химической защиты растений на гребнях эта задача может быть сформулирована в следующем виде: как расположить ось ветрозащитной решетки по отношению к траектории полета капель, чтобы в безветренную погоду они не оседали на поверхности пластин. Несоблюдение этого условия может привести к снижению качества обработки (неравномерному распределению рабочего раствора по целевому объекту). Решение этой задачи сводится к определению минимального расстояния между точкой на траектории движения капли и осью решетки (рис. 2).

Расположение оси решетки в системе координат ХОУ описывается уравнением прямой, проходящей через две точки [3]:

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1}, \tag{7}$$

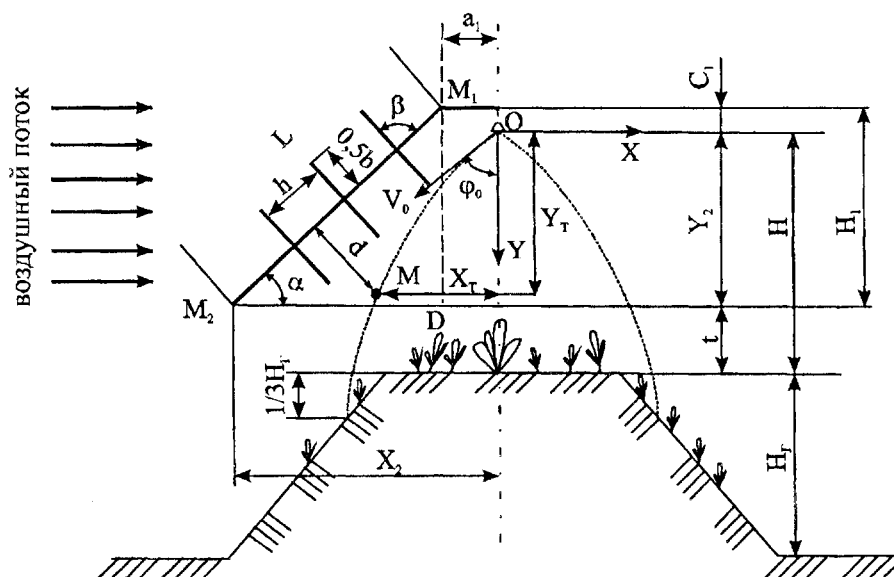


Рис. 2. Расчетная схема ветрозащитной решетки

где $(X_1; X_2)$ и $(Y_1; Y_2)$ — координаты точек M_1 и M_2 , определяемые из соотношений (см. рис. 2):

$$M_1 [X_1 = -a_1; Y_1 = -c_1];$$

$$M_2 [X_2 = -(a_1 + H_1 / tg\alpha); Y_2 = (H - t)], \quad (8)$$

где $a_1 = (0,02...0,03)$; $c_1 = (0,01...0,03)$ — конструктивные размеры, определяемые из условий монтажа распылителя в ветрозащитном устройстве, м; $t = (0,03...0,05)$ — расстояние между ветрозащитным устройством и верхней поверхностью гребня, м;

H — высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью, м;

H_1 — проекция оси решетки на ось OY , м.

С учетом координат точек M_1 и M_2 уравнение (7) приводится к нормальному виду:

$$-\frac{1}{\sqrt{1+tg^2\alpha}} [(X+a_1)tg\alpha + Y + c_1] = 0. \quad (9)$$

Координата X_T капли M на траектории ее полета определяется из уравнения [4]:

$$X_T = -\frac{V_0(-V_0 \cdot ctg\varphi_0 + \sqrt{(V_0^2 + 2 \cdot g \cdot Y_T) \cdot ctg^2\varphi_0 + 2 \cdot g \cdot Y_T})}{g \cdot (1 + ctg^2\varphi_0)} \quad (10)$$

где V_0 и φ_0 — соответственно скорость и угол между вектором скорости и вертикалью в момент вылета капли из сопла распылителя;

Y_T — координата точки M вдоль оси OY , которая изменяется в пределах: $Y_T = 0...H$.

Подставив в формулу (9) координаты точки X_T и Y_T , определяемые из уравнения (10), получим зависимость для определения расстояния от точки M , находящейся на траектории движения капли в произвольный момент, до оси решетки:

$$d = -\frac{1}{\sqrt{1+tg^2\alpha}} [(X_T + a_1)tg\alpha + Y_T + c_1]. \quad (11)$$

Из расчетной схемы (рис. 2) находим ширину пластины ветрозащитной решетки:

$$b = 2d. \quad (12)$$

Задавшись густотой решетки $\delta = 1,0...1,05$, по зависимости (6) определяем шаг решетки h . Число пластин определяется из соотношения:

$$n = L/h, \quad (13)$$

где L — расстояние между точками M_1 и M_2 , определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника M_1M_2D (см. рис. 2).

Расчеты на ЭВМ, выполненные по формулам (6)–(13), показывают, что при любом угле β установки оси решетки ширина пластин находится в интервале: $0,04 \leq b \leq 0,1$ м.

На основании расчетов ($\beta = 90^\circ$; $\alpha = 45^\circ...75^\circ$;

$h = 0,037 <$; $b = 0,04 <$) было изготовлено ветрозащитное устройство и проведены лабораторные исследования по определению сноса жидкости из зоны обработки. Получены эпюры распределения жидкости в защитной зоне рядка (рис. 3).

Результаты исследований показывают, что ветрозащитная решетка, изготовленная по приведенной выше методике, уменьшает снос капель распыляемой жидкости на 30...40 %, а горизонтальная составляющая скорости воздушного потока, вызывающая снос, удовлетворяет агротехническим требованиям по

химической защите растений даже при скорости ветра в зоне обработки 7 м/с.

В случае использования пестицидов для обработки вегетирующей части растений в качестве объекта обработки выступает не профилированная поверхность, а листовая часть растений. В данном случае важно препарат равномерно распределить на верхней (адаксиальной) и нижней (абаксиальной) сторонах листьев, которые занимают различное пространственное положение. опыты по изучению влияния ветрозащитной решетки на изменение направления движения воздушного потока (опыты с окрашенным дымом) [4], позволяют предположить турбулентный характер движения воздуха за решеткой. Это позволяет использовать жалюзийную ветрозащитную решетку при объемной обработке растений.

Методика изучения характера распределения рабочего раствора в пространственной зоне вероятного расположения листовой части растений при проведении лабораторных исследований заключается в следующем. На подвижную ленту (1) экспериментальной установки (рис. 4а) помещается специальный штатив (2), на котором в трех уровнях (на высоте 5, 15 и 25 см) закреплены кубики (3) размером 25×25×25 мм с ориентацией сторон относительно системы координат, указанной на рис. 4б.

На каждой стороне кубика в качестве улавливающей поверхности крепится карточка из водочувствительной бумаги фирмы Novartis. Общее количество улавливающих поверхностей равно 18. При движении ленты (1) со штативом (2) со скоростью движения агрегата относительно распылителя (5), ветрозащитного устройства (4) и вентилятора (6) капли распыленной жидкости осаждаются на водочувствительной бумаге.

Опыты проводились с распылителем фирмы «Lurmark» TP40015E, установленным на высоте

$H = 0,4$ м над поверхностью ленты при давлении жидкости $P = 0,3$ МПа. В качестве изменяемого параметра принята скорость потока воздуха на выходе из вентилятора, которая в опытах составляла 0; 4 и 7 м/с.

Проведя микроскопию полученных образцов, определяли суммарное количество капель различного диаметра, осевших на каждую из 6-ти плоскостей каждого кубика. Относительная площадь поверхностей, покрытая этими каплями, определялась по формуле:

$$\Omega_j = \sum_{i=1}^n \frac{S_{Kj}}{S_{Пj}}, \quad (14)$$

где Ω_j – относительная площадь пространственной плоскости j , покрытая каплями раствора;

S_{Kj} — суммарная площадь следов капель, осевших на j -й улавливающей поверхности;

$S_{Пj} = 2,5^2 \cdot n$ — площадь j -й улавливающей поверхности;

n — число поверхностей кубиков, образующих пространственную плоскость j ;

$j = X, Y, Z$ — рассматриваемая координатная плоскость пространства (рис. 3б).

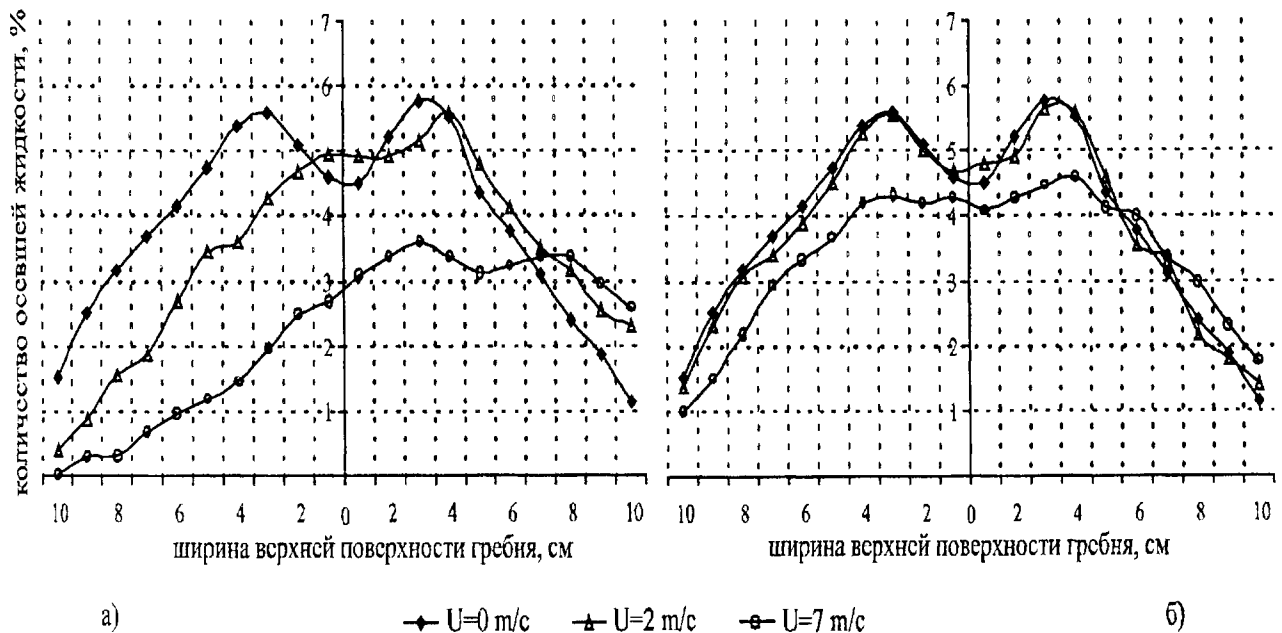


Рис. 3. Эпюры распределения жидкости распылителем 30НХС3 в пределах верхней поверхности гребня при давлении жидкости $P=0,2$ МПа, высоте установки распылителя 0,4 м и скорости воздушного потока U : а) без ветрозащитного устройства; б) с ветрозащитным устройством

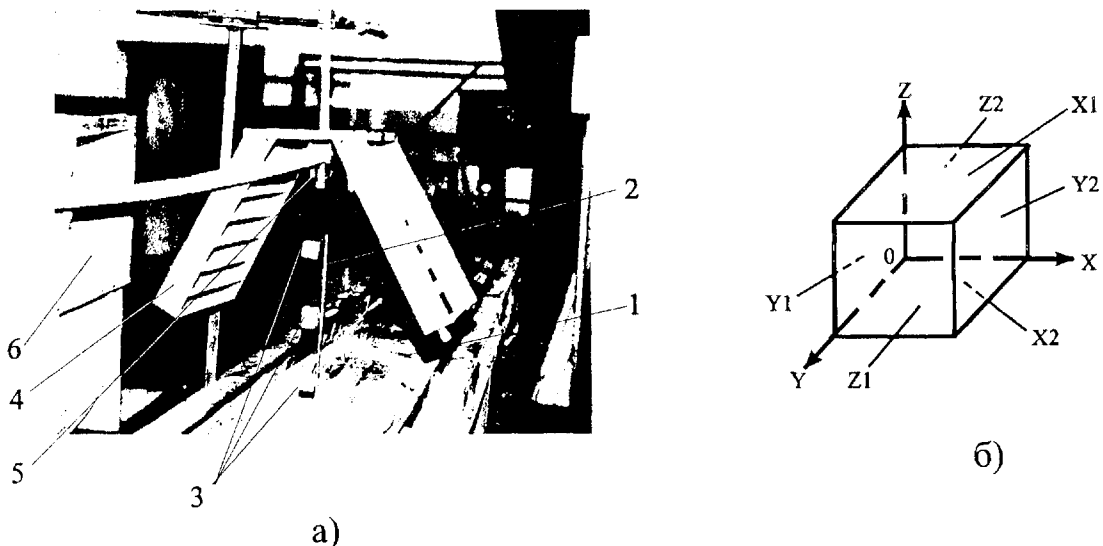


Рис. 4. Лабораторная установка по изучению объемного распределения распыленной жидкости: а) общий вид: 1 — лента транспортера; 2 — штатив; 3 — кубики; 4 — ветрозащитное устройство; 5 — распылитель; 6 — вентилятор; б) схема связи улавливающих поверхностей с системой координат

Качественным показателем равномерности распределения препарата в листовом пространстве является коэффициент объемной обработки, рассчитываемый по формуле:

$$v_{об} = \frac{\sqrt{\sum_{z=1}^6 (\bar{\Omega} - \Omega_z)^2}}{\bar{\Omega}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где $\bar{\Omega}$ — средняя относительная площадь пространства, покрытая каплями раствора.

Неравномерность распределения следов капель по поверхностям кубика оценивается коэффициентом вариации и составляет 16,1 %. При этом полнота покрытия верхней горизонтальной грани X1 выше среднего значения на 74 %, а нижней грани X2 — ниже на 16 %. Полнота покрытия всех вертикальных граней (Y1, Y2, Z1, Z2) отличается от средней величины на 8...17 %. Увеличение скорости воздушного потока перед решеткой до 4 и 7 м/с приводит к снижению средней полноты покрытия всех граней данного кубика до 3,0 и 2,58 мм²/см². Снижение коэффициента вариации с 16,1 % до 9 и 15% соответственно при скорости воздушного потока в 4 и 7 м/с указывает на более равномерное распределение капель жидкости в пространстве. Если в неподвижной среде полнота покрытия верхней X1 и нижней X2 граней отличалась в 2 раза, то при скорости воздушного потока в 4 и 7 м/с этот показатель снизился соответственно в 1,5 и 1,3 раза.

При скорости воздушного потока в 4 и 7 м/с средняя густота покрытия всех граней (X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2) второго кубика возросла соответственно на 38 и 39 % по отношению к аналогичному параметру в неподвижной среде. Коэффициент вариации снизился с 19 до 7,8 %.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 5.

В неподвижной среде среднее значение полноты покрытия всех граней третьего кубика составляет

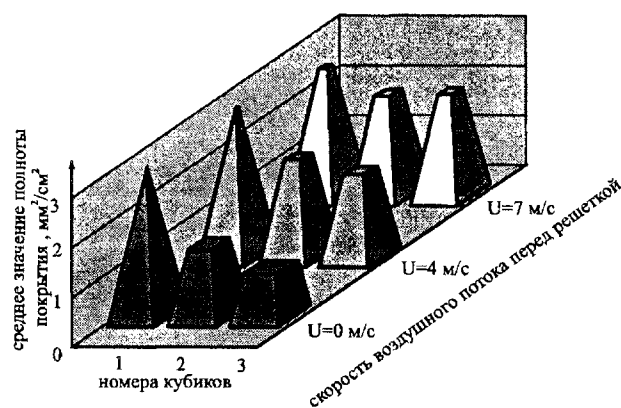


Рис. 5. Полнота покрытия поверхностей кубиков следами капель жидкости в зависимости от скорости воздушного потока перед жалюзийной решеткой (распылитель TP40015E «Lurmark»; высота установки H = 0,4 м; рабочее давление жидкости P = 0,3 МПа)

0,99 мм²/см², что более чем в 3 и 1,5 раза ниже, соответственно, первого и второго кубиков. При увеличении скорости воздушного потока перед решеткой до 4 и 7 м/с среднее значение контролируемого параметра возрастает на 75 и 110%. Неравномерность распределения капель по плоскостям в пространстве для данного кубика практически не изменилась. Коэффициент вариации составил 17,1% (в неподвижной среде) и, соответственно, 15,7 и 18,9% при скорости воздушного потока перед решеткой в 4 и 7 м/с.

Приведенный анализ показывает, что ветрозащитное устройство, изготовленное по принципу жалюзийной решетки, позволяет не только предотвратить снос капель из зоны внесения пестицидов, но и повысить качество объемной обработки вегетативной части растений. Это дает возможность установить на агрегате для междурядной обработки и ленточного внесения пестицидов устройство для борьбы с вредителями и отказаться от применения инсектицидов, заменив их репеллентами [4], что позволит получить экологически чистую продукцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. Основы механики жидкости: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1975. — 323 с.
2. Жуковский М.И. Расчет обтекания решеток профилей турбомашин. — М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. — 260 с.
3. Ефимов Н.В. Краткий курс аналитической геометрии. — М.: Наука, 1975. — 272 с.
4. Гордеенко О.В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: автореф. дис. ... к. т. наук: 05.20.01. — Горки, 2004. — 169 с.