

УДК 631.333.44

А.Л. ЧИЖЕВСКИЙ

КИНЕМАТИКА ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ БОКОВОЙ СЕКЦИИ  
ШТАНГИ ОПРЫСКИВАТЕЛЯ\*

Целью данной работы является обоснование допустимых значений кинематических параметров продольных колебаний секции штанги и оценка их влияния на неравномерность мгновенной дозы рабочей жидкости. Рассмотрено гармоническое колебание секции штанги, которая считается линейным источником рабочей жидкости.

Основными параметрами, определяющими кинематику продольных колебаний боковой секции штанги, являются: длина секции  $l_0$ , угловая частота колебаний секции относительно опрыскивателя  $\omega$ , амплитуда угловых колебаний  $\varphi_0$ . При заданных скорости движения опрыскивателя  $V_0$  и характеристике факела распыла ими определяется неравномерность распределения рабочей жидкости, а также граница обработанного участка. Последняя имеет существенное значение для достижения удовлетворительного распределения рабочей жидкости в зоне стыковки обработанных участков двух смежных проходов опрыскивателя.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что в процессе работы штангового опрыскивателя возможны два кинематических режима продольных колебаний боковой секции штанги, которые определяют траекторию ее конца (см. рисунок 1).

Режим 1:  $V_{ш} > V_0$  (линия 1),

где  $V_{ш} = l_0 \varphi_0 \omega$  - амплитуда относительной скорости конца штанги.

В этом случае имеют место повторные проходы штанги над отдельными участками обрабатываемой поверхности, в результате чего плотность осаждения рабочей жидкости на них в несколько раз превышает заданную, что ведет к угнетению растений при внесении как минеральных удобрений, так и химических средств защиты растений.

Режим 2:  $V_{ш} < V_0$  (линия 2).

Этот режим является более благоприятным и в дальнейшем будет рассматриваться только он. Как видно из рисунка 1, даже при идеальном согласовании смежных проходов наличие продольных коле-

\* Работа выполнена под руководством академика С.И. Назарова

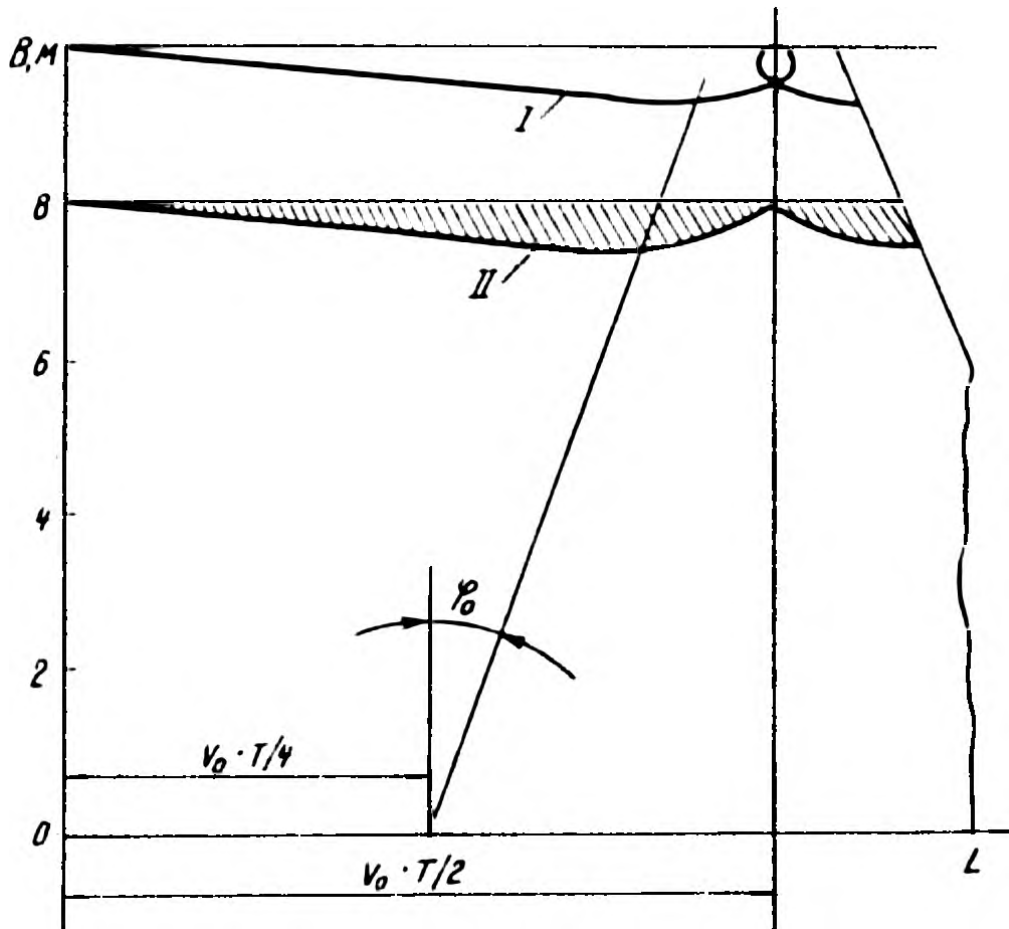


Рис. I. Траектории движения конца секции штанги:

I - при  $V_{ш} > V_0$  ;      II - при  $V_{ш} < V_0$  .

баний боковых секций штанги приводит к тому, что на части обрабатываемой поверхности рабочая жидкость распределяется некачественно (заштрихованный участок).

Определим влияние параметров продольных колебаний боковой секции на величину некачественно обработанной площади. Элементарная обработанная площадка в прямоугольной системе координат определяется выражением

$$ds = dL dy,$$

где  $dL$  — элементарное перемещение штанги в направлении движения опрыскивателя;  $dy$  — элементарное приращение ширины захвата секции штанги.

Площадка, обработанная секцией штанги в течение одного периода колебаний, равна

$$S = \iint_D dL dy, \quad (1)$$

где  $D$  – область интегрирования, соответствующая границам участка, обработанного за один период.

Положение произвольной точки секции штанги в прямоугольной системе координат определяется выражениями:

$$L = V_0 t + B \sin(\varphi_0 \sin \omega t); \quad (2)$$

$$y = B \cos(\varphi_0 \sin \omega t),$$

где  $t$  – время;  $B$  – длина секции штанги, соответствующая расстоянию от шарнира до рассматриваемой точки.

Поскольку ширина захвата и перемещение секции в направлении движения опрыскивателя находятся в зависимости от кинематических параметров колебаний, вычисление двойного интеграла (1) представляется сложным. С целью упрощения задачи произведем замену переменных в двойном интеграле (1), принимая в качестве независимых переменных время  $t$  и длину секции штанги  $B$ . При этом интеграл (1) примет вид [1]:

$$S = \iint_{D'} |J| dB dt, \quad (3)$$

где  $D'$  – область интегрирования, соответствующая переменным  $t$  и  $B$ ;  $J$  – якобиан преобразования координат.

$$J = \begin{vmatrix} \frac{dy}{dt} & \frac{dy}{dB} \\ \frac{dL}{dt} & \frac{dL}{dB} \end{vmatrix} \quad (4)$$

После подстановки частных производных уравнений (2) в выражение (4) и вычисления якобиана преобразования координат, интеграл (3) примет вид:

$$S = \iint_{tB} B \varphi_0 \omega \cos \omega t dB dt + \iint_{tB} V_0 \cos(\varphi_0 \sin \omega t) dB dt \quad (5)$$

Первое слагаемое в выражении (5) представляет собой табличные интегралы (2). Второе слагаемое интегрируем после разложения функции  $\cos(\varphi_0 \sin \omega t)$  в ряд Маклорена. Для достижения достаточной для технических приложений точности, оставляем в разложении три первых члена. Окончательно получим:

$$S \approx B_0 V_0 T (1 - \varphi_0^2 / 2 + \varphi_0^4 / 64), \quad (6)$$

где  $T$  – период колебания секции штанги.

Тогда доля некачественно обработанной площади определится выражением

$$\delta_s \approx \varphi_0^2 / 2 - \varphi_0^4 / 54. \quad (7)$$

Отклонение секции штанги от положения равновесия приводит к уменьшению рабочей ширины захвата при одновременном росте фактической дозы  $q_{\text{ф}}$  вносимой жидкости по сравнению с заданной  $q_0$ :

$$q_{\text{ф}} = q_0 / \cos \varphi_0. \quad (8)$$

На основании зависимостей (7) и (8) в качестве допустимой амплитуды продольных колебаний следует принять значение  $\varphi_0 \leq 18^\circ$ . При этом на долю некачественно обработанной площади приходится 2,5% от всей обрабатываемой, а фактическая доза в крайних положениях секции штанги отличается от заданной на 5,1%.

Следует выделить и диапазон существенных с агротехнической точки зрения частот, в пределах которого продольные колебания секции штанги оказывают влияние на качество распределения рабочей жидкости. В качестве нижней границы диапазона следует принять  $\omega_{\text{н}} = 0$ , так как отклонение секции штанги от исходного положения изменяет распределение рабочей жидкости, но в выражениях (7) и (8) угловая частота  $\omega$  не входит. Верхняя граница диапазона  $\omega_{\text{в}}$  зависит от рабочей скорости опрыскивателя и протяженности участка  $\Delta l$ , с которого данное средство химизации усваивается растением. Величина  $\omega_{\text{в}}$  должна соответствовать такому значению, при котором на пути, пройденном опрыскивателем за один период колебания секции штанги, укладывается два участка питания растений  $\Delta l$ :

$$\omega_{\text{в}} = 3,14 V_0 / \Delta l. \quad (9)$$

Продольные колебания секции штанги приводят к асимметричному относительно средней дозы распределению рабочей жидкости на обрабатываемой поверхности. В этом случае "сглаживание" неравномерного распределения возможно только при точном соответствии длины учетной площадки  $\Delta l$  пройденному за полупериод пути и отсутствии сдвига фаз (совпадении начала участка с началом полупериода колебаний), что весьма маловероятно.

Неравномерность мгновенной дозы рабочей жидкости, обусловленная продольными колебаниями секции штанги, зависит от соотношения между относительной скоростью секции штанги и скоростью движения опрыскивателя и может быть определена на основании

предложенной нами методики [3]. Продольная неравномерность мгновенной дозы, выраженная коэффициентом вариации  $V_L$ , при амплитуде относительной скорости штанги в рассматриваемом сечении  $V_{\omega i}$  и скорости опрыскивателя  $V_0 = \text{const}$  определяется выражением:

$$V_L = \sqrt{V_0 / \sqrt{V_0^2 - V_{\omega i}^2} - 1}. \quad (10)$$

Неравномерность мгновенной дозы жидкости, обусловленная продольными колебаниями, на всей обработанной секцией штанги поверхности при амплитуде относительной скорости на конце штанги  $V_{\omega}$  равна:

$$V = \sqrt{V_0 / V_{\omega} \arcsin(V_{\omega} / V_0) - 1}. \quad (11)$$

Анализ зависимостей (10) и (11) показывает, что качественное распределение рабочей жидкости возможно лишь в том случае, когда амплитуда относительной скорости секции штанги не превышает 15% от скорости движения опрыскивателя.

#### В ы в о д ы

1. Амплитуда продольных колебаний боковых секций штанги не должна превышать  $18^\circ$ , что соответствует 2,5% некачественно обработанной поверхности.

2. Диапазон существенных частот продольных колебаний секции штанги расширяется пропорционально скорости движения опрыскивателя.

3. Качественное распределение рабочей жидкости достигается при эффективном решении колебаний, когда амплитуда относительной скорости конца секции штанги не превышает 15% от скорости движения опрыскивателя.

4. Увеличение ширины захвата штанговых рабочих органов возможно только при одновременном совершенствовании их подвесок.

#### Литература

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. - М.: Наука, 1970.

2. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. - М.: Наука, 1978.

3. Кушель В.Ю., Чижевский А.Л. Влияние продольных колебаний штанги на распределение удобрений // Проблемы комплексной механизации процессов хранения, подготовки и внесения органических, минеральных удобрений, известковых материалов и средств защиты растений: Тез. науч.-произв. конф. - Мн., 1979.