

ЛИТЕРАТУРА

дов энергии на несогласованный кинематический режим движения передних и задних движителей полноприводного энергетического средства, существенного уменьшения износа протекторов его шин, коэффициент кинематического несоответствия должен находиться в пределах  $0,97 \dots 1,03$  [5, 6].

Значение  $K_v$ , постоянно близкое к единице, можно получить, применив автоматическую систему, которая в режиме реального времени фиксировала бы вертикальные нагрузки на мостах энергетического средства и рассчитывала отношение этих величин, по полученной величине отношения параметров  $G_n$  и  $G_z$ , регулировала давление воздуха в шинах колес трактора, согласно условию (5).

**Выводы**

Для обеспечения оптимального кинематического несоответствия в приводе ходовой системы полноприводного пахотно-пропашного трактора с одинаковыми колесами, отношения давления воздуха в шинах задних колес к давлению воздуха в передних движителях должно быть таким же, как и отношение вертикальной нагрузки на задний мост к вертикальной нагрузке, которая приходится на передний мост энергетического средства.

1. Скойбеда, А.Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин / А.Т. Скойбеда. – Мн: Наука и техника, 1979. – 280 с.

2. Кацыгин, В.В. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В.В. Кацыгин [и др.]. – Мн: Наука и техника, 1982. – 282 с.

3. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: учеб. / Г.М. Кутьков. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 506 с.

4. Тракторы. Теория: учеб. для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов [и др.]; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

5. Надыкто, В.Т. Агрегатирование модульных энергетических средств / В.Т. Надыкто. – Мелитополь: КП «ММД», 2003. – 240 с.

6. Надыкто, В.Т. К вопросу кинематического несоответствия в приводе колес модульного энергетического средства / В.Т. Надыкто // Вестник аграрной науки Причерноморья, 2002. – Вып. 4 (18), т. 2.

УДК 631.348.45

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 3.11.2014

## К ОБОСНОВАНИЮ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАПЛИ ПЕСТИЦИДА НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

И.С. Крук, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

**Аннотация**

*В статье получены зависимости, позволяющие определить силу воздействия падающей капли пестицида на обрабатываемую поверхность и предельную силу, не приводящую к ее повреждению. Приведено условие, при котором не будет происходить повреждение обрабатываемой поверхности падающей каплей пестицида.*

*In the article dependences for determining the impact force of a falling drop of the pesticide on the treated surface and ultimate power, resulting in damage are received. Conditions under which there will be no damage to the treated surface falling drop pesticide are presented.*

**Введение**

Факел распыла пестицидов представляет собой направленное движение воздушно-капельной струи, состоящей из капель различного диаметра и массы. Наименьшая высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью соответствует расстоянию, когда осуществляется двойное перекрытие факелов распыла в момент падения капель и при этом не повреждается объект обработки. В растениеводстве методом опрыскивания осуществляется как довсходовое, так и послеvсходовое внесения средств химизации. Поэтому при установке распылителя

необходимо учитывать воздействие факела распыла как на растение (стебли и листья), так и на почву. Предельно допустимая сила  $[F]_1$ , не приводящая к повреждению растений, зависит от биологических особенностей и принимается наименьшей из допустимых сил на повреждение стеблей и листьев растения. Величина допустимого усилия, не приводящего к повреждению растений, уменьшается при увеличении расстояния до точки его приложения от основания к верху и зависит от диаметра стебля у основания (рис. 1). Допустимая сила повреждения почвы  $[F]_2$  зависит от ее физико-механических свойств и состояния во время обработки.

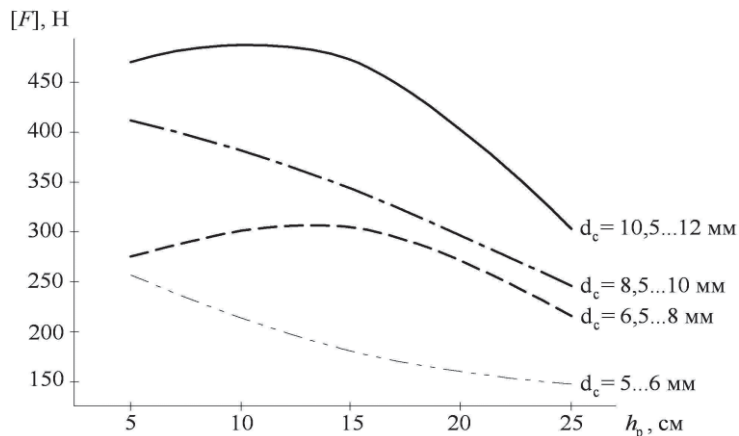


Рисунок 1. Изменение допустимого усилия  $[F]$ , не приводящего к повреждению ботвы картофельного куста в зависимости от расстояния до точки приложения относительно основания  $h_p$  и диаметра стебля у основания  $d_c$

Для того чтобы воздействие воздушно-капельной струи на почву стало разрушающим, ей необходимо преодолеть связность почвы, характеризуемую временным сопротивлением сжатию и определяемую молекулярными силами притяжения мелких минеральных частиц между собой и частицами воды. Ее значения зависят от почвенно-климатических условий и находятся в широких пределах. Так, для супесчаных и пылеватых почв, в зависимости от их влажности, она составляет до 0,7 МПа, для суглинистых – 1,0-1,5 МПа, а глинистых – до 10 МПа [1, 2]. При определении разрушающего воздействия струи необходимо учитывать не только механический состав почвы и ее состояние, но и совокупность действия сил струи на площадь, охватываемую факелом распыла, то есть совокупное воздействие всех капель.

### Основная часть

Примем следующие предпосылки: капля имеет шаровидную форму, которая в процессе удара не изменяется, ее масса до и после удара также не изменяется.

Предположим, что капля жидкости диаметра  $d_k$  и массы  $m_k$  падает на поверхность со скоростью  $v_k$ . Из теоремы изменения количества движения имеем:

$$m_k v_k = Ft, \quad (1)$$

где  $F$  – сила удара капли, Н;

$t$  – время, в течение которого длится удар, с.

Время определяется характером удара [3]:

– для неупругого

$$t = k \frac{d_k}{v_k}; \quad (2)$$

– для упругого

$$t = \frac{2 \cdot d_k}{v_{yb}}, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий степень деформации капли, при которой она изменит направление движения так, что воздействие ее на поверхность прекратится. На основании результатов опытов Михайловской [3]  $k = \frac{1}{2}$ ;

$v_{yb}$  – скорость распространения упругих волн в капле или скорость распространения звука в воде, м/с.

При проведении операций химической защиты методом опрыскивания после появления всходов, одним из условий качества обработок является отсутствие скатывания капель с листьев и стеблей. Поэтому для нашего случая следует рассматривать вариант неупругого удара.

Подставив зависимость (2) в равенство (1), получим

$$F = \frac{m_k v_k^2}{k d_k}; \quad (4)$$

Учитывая, что

$$m_k = \rho_{ж} V_k, \quad (5)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$V_k$  – объем капли, м<sup>3</sup>

$$V_k = \frac{4}{3} \pi r_k^3 = \frac{\pi}{6} d_k^3 \quad (6)$$

Получим

$$F = \frac{\rho_{ж} \pi}{6k} v_k^2 d_k^2. \quad (7)$$

Анализируя зависимость (7), приходим к выводу, что для определения силового воздействия капли на обрабатываемую поверхность, необходимо либо непосредственно измерить силу, либо определить размер и конечную скорость падения капли.

На практике используются распылители, установленные как вертикально (рис. 2, а), так и под углом  $\alpha$  к вертикальной оси (рис. 2, б) В случае, когда факел распыла наклонен к обрабатываемой поверхности, зависимость (7) можно записать в следующем виде:

$$F = \frac{\rho_{ж} \pi}{6k} v_k^2 d_k^2 \times \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right), \quad (8)$$

где  $\theta$  – угол между осью  $OX$  и проекцией силы факела распыла на плоскость  $XOY$ , рад.

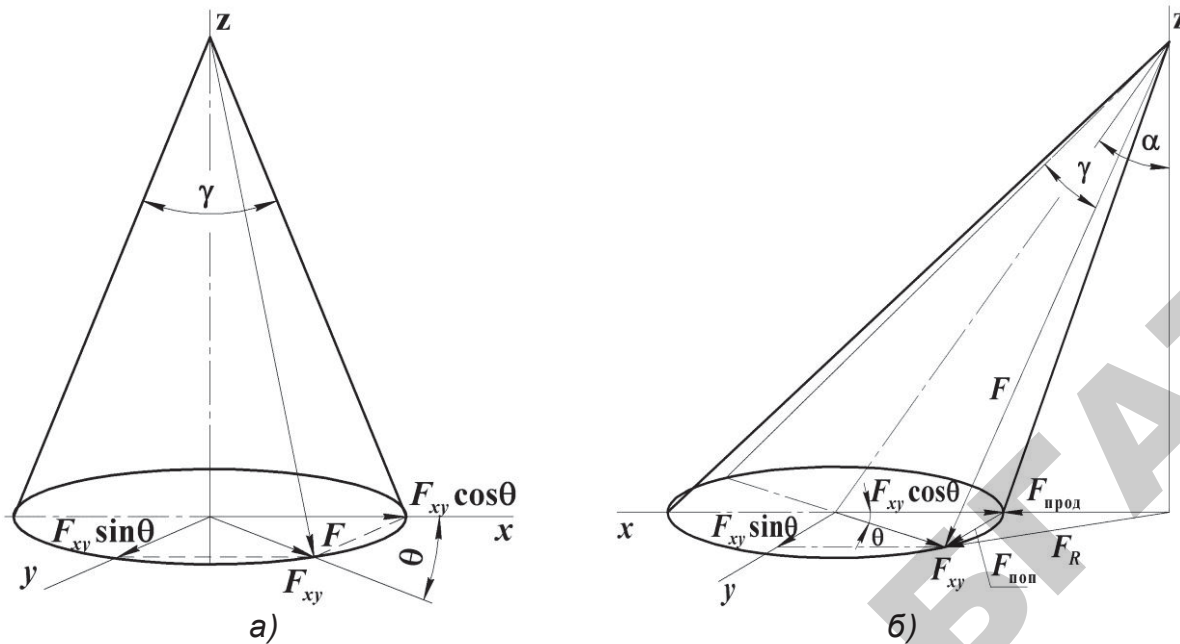


Рисунок 2. Эпюры сил при установке распылителя: а) непосредственно над обрабатываемым объектом; б) под углом  $\alpha$  к вертикальной оси

Капле для достижения предела повреждения поверхности необходимо преодолеть силы упругости и инерции объекта обработки. Учитывая различную прочность объекта по направлениям, В.П. Горячкин предложил математические зависимости для определения критических скоростей удара, приводящих к разрушению [4]:

$$[v_{\text{прод}}] = \sigma_1 \sqrt{\frac{g}{E \cdot \gamma_0}}; \quad (9)$$

$$[v_{\text{поп}}] = \sigma_2 \sqrt{\frac{g}{G \cdot \gamma_0}}, \quad (10)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  – соответственно предельные напряжения в продольном и поперечном направлениях, Н/м<sup>2</sup>;

$G$  – модуль сдвига, Н/м<sup>2</sup>;

$E$  – модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>;

$\gamma_0$  – удельный вес обрабатываемой поверхности, Н/м<sup>3</sup>.

Учитывая условие, что для предотвращения сноса капель рабочего раствора ветром их конечная скорость падения должна быть больше или равна скорости ветра  $v_B$  [5], будут справедливы следующие зависимости:

$$\bar{v}_B \leq \bar{v}_K \leq [\bar{v}_{\text{прод}}] + [\bar{v}_{\text{поп}}], \quad (11)$$

или

$$v_B \leq v_K \leq \sqrt{[v_{\text{прод}}]^2 + [v_{\text{поп}}]^2}, \quad (12)$$

где  $v_B$  – скорость ветра, м/с.

Поэтому для определения высоты установки распылителя и разрушающего воздействия струи достаточно знать критические скорости повреждения почвы и растений, скорости падения капель в момент соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. Однако в справочной литературе приведены не критические скорости, а силы и давление, вызывающие повреждение почвы и растения [1], поэтому необходимо представить зависимость (12) в силовом виде.

Учитывая зависимости (8), (9), (10) и убеждение, что проекция силы  $F$  в плоскости  $XOY$  с течением времени меняет направление (рис. 2), можно записать равенства для определения допустимых сил на повреждение от воздействия одной капли в продольном и поперечном направлениях

$$[F_{\text{прод}}] = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_1^2 \cdot g}{E \cdot \gamma_0} \times (\cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta); \quad (13)$$

$$[F_{\text{поп}}] = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_2^2 g}{G \gamma_0} \sin \frac{\gamma}{2} \sin \theta. \quad (14)$$

Обозначим

$$(\cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta) = J. \quad (15)$$

С учетом зависимости (8) и выражения  $\gamma_0 = \rho \cdot g$ , выражения (13) и (14) можно представить в следующем виде:

$$[F_{\text{прод}}] = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_1^2 g}{E \gamma_0} J = \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k E \rho_0} d_{\text{к}}^2 \sigma_1^2 n J; \quad (16)$$

$$[F_{\text{поп}}] = \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k \rho_0} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_2^2}{G} \sin \frac{\gamma}{2} \sin \theta. \quad (17)$$

Угол между направлениями распространения продольного и поперечного ударов составляет  $90^\circ$ , поэтому допустимая результирующая сила при воздействии капли будет

$$[F_R] = \sqrt{[F_{\text{прод}}]^2 + [F_{\text{поп}}]^2}. \quad (18)$$

Тогда, подставляя зависимости (16) и (17) в (18), получим:

$$[F_R] = \sqrt{\left( \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k E \rho_0} d_{\text{к}}^2 \sigma_1^2 J \right)^2 + \left( \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k \rho_0} d_{\text{к}}^2 \frac{\sigma_2^2}{G} \sin \frac{\gamma}{2} \sin \theta \right)^2}, \quad (19)$$

или с учетом равенства (15)

$$[F_R] = \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k \rho_0} d_{\text{к}}^2 \times \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \frac{\gamma}{2} \sin^2 \theta} \quad (20)$$

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что сила воздействия капли на обрабатываемую поверхность должна быть меньше допустимой силы удара на повреждение. То есть

$$\bar{F} \leq [\bar{F}_R] \quad (21)$$

или с учетом зависимостей (8) и (20)

$$\begin{aligned} \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k} v_{\text{к}}^2 d_{\text{к}}^2 \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right) &\leq \\ &\leq \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k \rho_0} d_{\text{к}}^2 \times \\ &\times \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \frac{\gamma}{2} \sin^2 \theta}. \end{aligned} \quad (22)$$

Исходя из того, что при рассмотрении вопроса о повреждении почвы необходимо определять допустимое давление капли, условие (22) можно записать как

$$p_{\text{н}} = \frac{F_{\text{н}}}{S_{\text{сл}}} \leq [p], \quad (23)$$

где  $S_{\text{сл}}$  – площадь следа, оставляемого каплей,  $\text{м}^2$ .

Так как при расчетах принимается, что  $d_{\text{к}} \approx \frac{2}{3} d_{\text{сл}}$  [3]

( $d_{\text{сл}}$  – диаметр следа, оставляемого каплей), то

$$S_{\text{сл}} = \frac{9\pi}{16} d_{\text{к}}^2.$$

Используя неравенство (22), получим:

$$p_{\text{н}} = \frac{\rho_{\text{ж}} \pi}{6k S_{\text{сл}}} v_{\text{к}}^2 d_{\text{к}}^2 \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right) \leq$$

$$\leq \frac{\pi \rho_{\text{ж}}}{6k \rho_0 S_{\text{сл}}} d_{\text{к}}^2 \times$$

$$\times \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \frac{\gamma}{2} \sin^2 \theta},$$

или

$$p_{\text{н}} = \frac{8\rho_{\text{ж}}}{27k} v_{\text{к}}^2 \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right) \leq$$

$$\leq \frac{8\rho_{\text{ж}}}{27k \rho_0} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{\sigma_1^4}{E^2} \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \frac{\gamma}{2} \sin^2 \theta}. \quad (24)$$

Используя неравенство (22) или (24), можно получить условие прочности обрабатываемой поверхности при падении на нее капли

$$v_{\text{к}} \leq \sqrt{\frac{\frac{\sigma_1^4}{E^2} \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right)^2 + \frac{\sigma_2^4}{G^2} \sin^2 \frac{\gamma}{2} \sin^2 \theta}{\rho_0 \left( \cos \frac{\gamma}{2} \sin \alpha + \sin \frac{\gamma}{2} \cos \theta \right)}}. \quad (25)$$

### Заключение

В статье исследован процесс воздействия падающей капли пестицида на обрабатываемую поверхность. Получены зависимости для определения величины воздействия капли и предельной силы, при которой происходит повреждение обрабатываемой поверхности с учетом ее свойств и состояния.

Получено условие прочности обрабатываемого объекта, основанное на определении предельной скорости повреждения поверхности и конечной скорости падения капли.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984 – 320 с.
2. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений: труды ВИСХОМ. – М, 1970. – 423 с.
3. Исаев, И.С. Гидравлика дождевальных машин / И.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
4. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – 1 т. – 720 с.
5. Степук, Л.Я. Механизация процессов химизации и экология /Л.Я. Степук, И.Н. Нагорский, В.П. Дмитрачков. – Мн.: Ураджай, 1993. – 272 с.