

УДК 631.348.45.001.63

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ  
СТЕПЕНИ ПОКРЫТИЯ КОРНЕПЛОДОВ РАБОЧЕЙ  
ЖИДКОСТЬЮ В КАМЕРЕ ПРОТРАВЛИВАНИЯ**

**П.Н. Бычек**

УО «Гродненский государственный аграрный университет»,  
г. Гродно, Республика Беларусь

*(Поступила в редакцию 01.07.2013 г.)*

**Аннотация.** В статье теоретически исследована и обоснована степень покрытия корнеплодов каплями рабочей жидкости в камере протравливания. Предложено выражение для определения степени покрытия в зависимости от нормы расхода рабочей жидкости, радиуса капли рабочей жидкости, скорости движения транспортера и размеров камеры протравливания.

**Summary.** In the article the degree of a covering of root crops by drops of working liquid in the processing camera is theoretically investigated and proved.

*Expression for definition of degree of a covering depending on a consumption rate of working liquid, radius of a drop of working liquid, speed of movement of the conveyor and the sizes of the camera of processing is offered.*

**Введение.** В настоящее время вопросу возделывания сахарной свеклы уделяется значительное внимание, что связано с важностью данной культуры для продовольственной безопасности нашей страны. Особняком в этом вопросе стоит проблема сохранности убранных урожаев, которую частично можно решить за счет обработки корнеплодов жидким защитным препаратом.

Обработку корнеплодов свеклы возможно проводить во время уборки на самоходном свеклоуборочном комбайне, либо во время закладки на хранение на буртоукладочной машине, что зависит от применяемой в хозяйстве технологии уборки урожая. В то же время нашими исследованиями установлено, что двукратная последовательная обработка на свеклоуборочном комбайне и буртоукладочной машине дает наилучший результат и позволяет сохранить около 10% корнеплодов по массе дополнительно [6].

Для обработки корнеплодов на самоходном свеклоуборочном комбайне нами предложено оборудование, состоящее из камеры протравливания и модуля дозирования и приготовления раствора. Некоторые параметры работы предложенной нами камеры протравливания уже теоретически обоснованы в наших предыдущих публикациях [1].

**Цель работы.** В настоящей статье сделана попытка теоретически исследовать степень покрытия корнеплода защитным препаратом при его равномерном движении в камере протравливания, установив при этом взаимосвязь между такими параметрами, как длина камеры протравливания, расход рабочей жидкости, скорость движения транспортера и размеры капли рабочей жидкости.

Таким образом, в итоге мы должны получить уравнение для определения степени покрытия корнеплодов в зависимости от основных параметров работы камеры протравливания.

**Материал и методика исследований.** В соответствии с предлагаемой технологией, жидкий консервант в виде воздушно-капельного потока вносится в слой корнеплодов, с постоянной скоростью движущийся на транспортере через камеру протравливания.

Вопрос о степени покрытия клубнеплода рабочей жидкостью решался для случая равноускоренного движения клубня картофеля сквозь камеру протравливания с дисковым распылителем [2]. В рассматриваемом нами случае имеется несколько весьма важных отличий, а именно: поток корнеплодов свеклы движется равномерно сквозь воздушно-капельный поток рабочей жидкости, кроме того геометрические

размеры и форма клубней картофеля и корнеплодов сахарной свеклы сильно отличаются. Все это обуславливает необходимость существенной доработки предложенной автором теории.

Клименко В.И. предлагает рассматривать попадание капель на корнеплод как поток случайных событий [2]. В таком случае относительно воздушно-капельного потока рабочей жидкости сделаны следующие допущения:

1. Поток стационарен, т.е. вероятность наступления события не зависит от времени, равномерность распределения рабочей жидкости по камере протравливания повышает турбулентный осаждающий воздушный поток.

2. Поток не обладает последствием, т.е. вероятность выпадения капли на площадку не зависит от того, выпали или нет капли на эту площадку в предыдущий момент времени.

3. Поток ординарен, т.е. вероятность выпадения более одной капли на малую площадку за малое время мала.

Если согласиться с этими предположениями, то степень эффективного покрытия можно записать в следующем виде:

$$P_T' = 100 \cdot \left( 1 - e^{-\lambda \frac{t}{2}} \right) \quad (1)$$

где  $P_T'$  – показатель степени покрытия поверхности клубней рабочей жидкостью, %;

$\lambda$  – интенсивность потока событий, т.е. плотность потока капель консерванта над корнеплодами;

$t$  – время нахождения корнеплода в камере протравливания (время обработки), с.

В случае равномерного движения транспортера, время нахождения корнеплода в зоне обработки определится как отношение длины камеры протравливания к скорости движения транспортера, т.е. формула (1) примет вид:

$$P_T' = 100 \cdot \left( 1 - e^{-\lambda \frac{L}{2 \cdot v_{тр}}} \right) \quad (2)$$

где  $L$  – длина камеры протравливания, м;

$v_{тр}$  – скорость движения транспортера, м/с.

Для определения интенсивности потока событий  $\lambda$ , рассмотрим схему внесения консервантов в слой корнеплодов (рисунок 1).

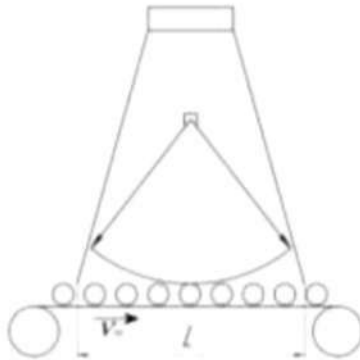


Рисунок 1 – Схема к определению степени покрытия корнеплодов рабочей жидкостью

Весь расход консерванта можно разделить на некоторое количество капель, представив это в следующем виде:

$$N_{\text{кап}} = \frac{Q}{W_{\text{кап}}} = \frac{3 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot R_{\text{кап}}^3} \quad (3)$$

где  $N_{\text{кап}}$  – количество капель, шт.;

$Q$  – расход рабочей жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$W_{\text{кап}}$  – средний объем капли, м<sup>3</sup>;

$R_{\text{кап}}$  – радиус капли, м.

Так как транспортер движется с постоянной скоростью, а корнеплоды имеют форму равнобокой трапеции, то он будет не полностью заполнен ими. В таком случае необходимо определить коэффициент заполнения транспортера корнеплодами, что можно сделать следующим образом:

$$K_{\text{корн}} = \frac{\sum S_{\text{корн}}}{S_{\text{кп}}} \quad (4)$$

где  $K_{\text{корн}}$  – коэффициент заполнения транспортера корнеплодами;

$\sum S_{\text{корн}}$  – сумма площадей поперечного сечения корнеплодов, находящихся в камере протравливания, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{кп}}$  – площадь камеры протравливания, м<sup>2</sup>.

В то же время площадь равнобокой трапеции определяется как:

$$S_{\text{корн}} = \frac{D_{\text{к}} + d_{\text{к}}}{2} \cdot h_{\text{к}} \quad (5)$$

где  $D_{\text{к}}$  – длина большего основания трапеции, м;

$d_k$  – длина меньшего основания трапеции, м;

$h_k$  – высота трапеции, м.

Здесь необходимо отметить, что длиной большего основания трапеции является диаметр верхней части головки корнеплода, а длиной нижнего – диаметр хвостика.

Таким образом, подставив выражение (5) в выражение (4) можно получить коэффициент заполнения транспортера под камерой протравливания:

$$K_{\text{корн}} = N_{\text{корн}} \cdot \frac{(D_k + d_k) \cdot h_k}{2 \cdot B \cdot L} \quad (6)$$

где  $N_{\text{корн}}$  – количество корнеплодов в камере протравливания, шт;

$B$  – ширина камеры протравливания, м.

Воспользовавшись уравнением (6), можно рассчитать численное значение коэффициента заполнения транспортера под камерой протравливания, для этого необходимо принять размеры корнеплодов согласно [3]. В таком случае размер  $D_k$  примем равным 12 см (0.12 м), размер  $d_k$  примем равным 4 см (0.04 м), а высота  $h_k$  корнеплода составит 16 см (0.16 м).

Кроме того, для нашего частного случая примем  $N_{\text{корн}}=1$ , а длину  $L$  и ширину  $B$  камеры протравливания равной максимальному геометрическому размеру корнеплода (в нашем случае это его высота). Таким образом, после подстановки численных значений в формулу (6) можно определить коэффициент заполнения камеры с достаточной для практических расчетов точностью:

$$K_{\text{корн}} = N_{\text{корн}} \cdot \frac{(D_k + d_k) \cdot h_k}{2 \cdot B \cdot L} = 1 \cdot \frac{(0.12 + 0.04) \cdot 0.16}{2 \cdot 0.16^2} = 0.5 \quad (7)$$

Теперь, зная коэффициент заполнения камеры и преобразовав выражение (6), можно подсчитать количество корнеплодов, находящихся в камере протравливания в любой момент времени:

$$N_{\text{корн}} = K_{\text{корн}} \cdot \frac{2 \cdot L \cdot B}{(D_k + d_k) \cdot h_k} \quad (8)$$

Зная количество корнеплодов в камере протравливания в заданный момент времени, необходимо учитывать тот факт, что они имеют выпуклую форму. В таком случае необходимо определить площадь половины поверхности корнеплодов (обращенных в сторону факела распыла) на которую приходится поток капель рабочей жидкости, что выполняется по формуле, известной из геометрии:

$$\Sigma S_{корн} = N_{корн} \cdot \frac{\left( \pi \cdot \left( \left( \frac{D_k + d_k}{2} \right) \cdot h_k + \left( \frac{d_k^2 + D_k^2}{4} \right) \right) \right)}{2} \quad (9)$$

На данном этапе нам необходимо подсчитать площадь поверхности, на которую приходится поток капель распыленной рабочей жидкости. Согласно нашим расчетам, камера заполнена корнеплодами наполовину ( $K_{корн}=0.5$ ), а это значит, что часть рабочей жидкости приходится на свободное пространство. Остальная часть рабочей жидкости попадает на выпуклую поверхность корнеплодов, площадь которой (для всей камеры) равна  $\Sigma S_{корн}$ . Таким образом, площадь, на которую попадет поток капель, будет равна:

$$S_{пк} = 0.5 \cdot L \cdot B + \Sigma S_{корн} \quad (10)$$

где  $S_{пк}$  – площадь, на которую приходится поток капель рабочей жидкости,  $m^2$ .

Если разделить площадь  $S_{пк}$  на площадь следа капли, можно получить число элементов поверхностей следов капель:

$$N_{ск} = \frac{S_{пк}}{\pi \cdot (3/2 \cdot R_{кап})^2} = \frac{4 \cdot (0.5 \cdot L \cdot B + \Sigma S_{корн})}{9 \cdot \pi \cdot R_{кап}^2} \quad (11)$$

при этом необходимо учитывать, что капля оставляет след на поверхности в 1.5 раза больше своего радиуса, т. е.  $R_{сл} = 1.5 \cdot R_{кап}$  [4].

Теперь для подсчета интенсивности  $\lambda$  потока событий необходимо поделить число капель  $N_{кап}$  на число элементов поверхностей следов капель  $N_{ск}$ :

$$\lambda = \frac{N_{кап}}{N_{ск}} = \frac{3 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot R_{кап}^3} \cdot \frac{9 \cdot \pi \cdot R_{кап}^2}{4 \cdot (0.5 \cdot L \cdot B + \Sigma S_{корн})}$$

после преобразования и упрощения получим выражение:

$$\lambda = \frac{27 \cdot Q}{16 \cdot R_{кап} \cdot (0.5 \cdot L \cdot B + \Sigma S_{корн})} \quad (12)$$

Таким образом, поставив в выражение (2) выражение (12), можно получить формулу для определения степени покрытия корнеплодов свеклы рабочей жидкостью:

$$P_T' = 100 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{27Q}{16R_{\text{кап}}(0.5 \cdot L \cdot B + \Sigma S_{\text{корн}}) v_{\text{тр}}}} \right)$$

после преобразования получим окончательное выражение:

$$P_T' = 100 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{27Q \cdot L}{8R_{\text{кап}} \cdot v_{\text{тр}} (0.5 \cdot L \cdot B + \Sigma S_{\text{корн}})}} \right) \quad (13)$$

Анализ уравнения (13) показывает, что степень покрытия корнеплодов рабочей жидкостью зависит от размера капель, скорости движения транспортера (фактически времени пребывания корнеплода в зоне обработки), расхода рабочей жидкости, длины и ширины камеры протравливания.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для получения численных значений степени покрытия корнеплода рабочей жидкостью необходимо задаться конкретными значениями изменяемых параметров.

В таком случае ширину  $B$  камеры протравливания примем равной ширине транспортера, подающего корнеплоды, что для свеклоуборочного комбайна Клейне СФ 10-2 составляет 0,8 м [5].

Для расчетов примем длину  $L$  камеры равной ее ширине, так как применяемые нами распылители (о чем будет сказано несколько ниже) дают преимущественно симметричный факел распыла, таким образом  $L=B=0,8$  м.

В своих опытах по обработке корнеплодов сахарной свеклы мы использовали биопестицид «Бетапротектин», норма расхода при его использовании составляет 3 л/мин, о чем более подробно сказано в наших предыдущих публикациях [6]. Учитывая все вышесказанное, расход рабочей жидкости составит  $Q=5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с.

Для обработки корнеплодов необходимо использовать такой распылитель, который позволяет диспергировать рабочую жидкость на капли минимального диаметра, имея расход рабочей жидкости при этом на уровне 3 л/мин. Данному условию в наибольшей мере удовлетворяют распылители центробежно-вихревого типа, позволяющие дробить рабочую жидкость на капли радиусом от 25 до 75 мкм [7]. В таком случае, для наших расчетов примем  $R_{\text{кап}}=50$  мкм.

Скорость подающего транспортера  $v_{\text{тр}}$  свеклоуборочного комбайна примем равной 1,5 м/с, что вполне укладывается в рекомендуемые производителем границы [5].

После того как все необходимые значения получены, можно приступать к расчетам. Последовательно воспользовавшись выражениями

(8) и (9) можно определить половину суммарной площади поверхности корнеплодов, находящихся в данный момент времени в камере протравливания:

$$N_{\text{корн}} = 0.5 \cdot \frac{2 \cdot 0.8 \cdot 0.8}{(0.12 + 0.04) \cdot 0.16} = 25 \text{ шт.}$$

$$\Sigma S_{\text{корн}} = 25 \cdot \frac{3.14 \cdot \left( \left( \frac{0.12 + 0.04}{2} \right) \cdot 0.16 + \left( \frac{0.04^2 + 0.12^2}{4} \right) \right)}{2} = 0.63 \text{ м}^2$$

Таким образом, степень покрытия корнеплода рабочей жидкостью определится следующим образом:

$$P_T^I = 100 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{27.51 \cdot 10^{-5} \cdot 0.8}{8.501 \cdot 10^{-6} \cdot 1.5(0.5 \cdot 0.8 \cdot 0.8 + 0.63)}} \right) = 85\%$$

**Заключение.** Нашими расчетами подтверждено, что степень покрытия корнеплодов зависит от размера капель, скорости движения транспортера, расхода рабочей жидкости и геометрических размеров камеры протравливания.

Проведя расчет по полученной зависимости (13), мы установили, что степень покрытия корнеплодов рабочей жидкостью составит около 85%, при этом стоит отметить, что существуют резервы повышения степени покрытия. Такими резервами могут стать: применение распылителя, дробящего рабочую жидкость на капли меньшего размера; повышение расхода рабочей жидкости; увеличение длины камеры протравливания и т.п.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бычек, П.Н. Теоретическое обоснование взаимодействия направленного воздушного потока и капли жидкости, выходящей из распылителя. Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр.: Т.2/под ред. В.К. Пестиса.- Гродно: ГГАУ, 2010.-427 с.- С. 25-34
2. Клименко, В.И. Теоретические предпосылки к технологическому процессу протравливания семенного картофеля. Вести национальной академии наук Беларуси №1 2005 г. Серия аграрных наук. – С. 101-108
3. Ладутыко, С.Н., Бычек, П.Н. К определению расхода жидкого фунгицида при обработке корнеплодов сахарной свеклы. Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XI МНПК, Гродно, 2008 г.- Издательско-полиграфический отдел УО «ГГАУ».- С.23-24
4. Листопад, Г.Е., Демидов, Г.К., Зонов, Б.Д. и др. Сельскохозяйственные и мелiorативные машины. Москва, 1986.-365 с.
5. Руководство по эксплуатации свежесуборочного комбайна Kleine SF-10. Год выпуска 2006.
6. Кузьмицкий, А.В., Бычек, П.Н. Результаты использования оборудования для обработки корнеплодов сахарной свеклы жидким консервантом.-Агропанорама № 5.- 2009.- С. 20-23.



7. Кот, Т.П. Повышение эффективности обработки вегетирующих культур обоснованием параметров воздухо-распределительной и гидравлической систем штанговых опрыскивателей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Минск 2006.