

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

УДК 631.3

В. А. Бурдейко

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», ул. Войкова, 21,
225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 562 74 05, V_A_Victor@mail.ru

**РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКОЙ ЩЕТКИ
ДЛЯ ОЧЕСЫВАНИЯ КОЛОРАДСКОГО ЖУКА**

В статье представлено теоретическое обоснование и расчет эффективного кинематического показателя конической щетки, ворсинки которой действуют на листья картофельной ботвы в процессе очесывания с них особей колорадского жука. Приведено построение рациональной траектории движения ворсинки конической щетки, воздействующей на листья картофельной ботвы в момент очесывания с нее вредителей.

Ключевые слова: картофель; колорадский жук; коническая щетка; машина; очесывание; ворсинка; расчет; скорость; траектория; кинематический показатель.

Рис. 3. Библиогр.: 9 назв.

V. A. Burdeyko

Institution of Education "Baranavichy State University", 21 Voykova Str., 225404 Baranavichy, the Republic of
Belarus, +375 (29) 562 74 05, V_A_Victor@mail.ru

**CALCULATION OF KINEMATIC PARAMETERS OF A CONICAL
BRUSH FOR HARVESTING COLORADO POTATO BEETLE**

The article presents a theoretical justification and calculation of the effective kinematic parameter of a conical brush, whose bristles act on the leaves of potato foliage during the process of brushing off Colorado potato beetles. It includes the construction of a rational trajectory for the movement of the bristles of the conical brush, influencing the potato foliage at the moment of pest removal.

Key words: potato; Colorado potato beetle; conical brush; machine; combing; bristle; calculation; speed; trajectory; kinematic indicator.

Fig. 3. Ref.: 9 titles.

Введение. Выращиванию экологически чистого картофеля в последнее время в мире уделяется большое внимание. Из этого следует, что органическое сельское хозяйство, преследующее целью получение экологически чистой продукции, — одно из самых динамично развивающихся направлений мирового аграрного производства. Зеленая экономика уже давно стала центральной темой в глобальной повестке дня производства сельскохозяйственных продуктов. Беларусь не отстает от мирового тренда. 9 ноября 2018 года Президент Республики Беларусь подписал Закон Республики Беларусь № 144-З «О производстве и обращении органической продукции». В главе 1 «Общие положения» (ст. 4) говорится, что «объектами отношений в области производства и обращения органической продукции являются семена и процессы производства и обращение органической продукции» [1].

Развитие экологического (органического) земледелия, одним из методов которого является механический сбор колорадского жука, актуально и перспективно.

Основными рабочими органами машины для очесывания колорадского жука являются коническая щётка, лоток и два эластичных копира.

Авторы В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис в своих исследованиях приводят сведения о машине для очесывания особей колорадского жука, ее рабочих органах, расчеты параметров машины, математическое моделирование процесса удаления колорадского жука с ботвы [2—7].

Исследованием технологической операции сбора и утилизации колорадского жука занимались ученые П. П. Казакевич, В. К. Пестис, Э. В. Заяц, П. В. Заяц, С. Н. Ладутько. На кафедре механизации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Гродненский государственный аграрный университет» разработана машина для сбора и утилизации колорадского жука.

Материалы и методы исследования. При проектировании машины для сбора колорадского жука необходимо рационально выполнить компоновку ее составных частей. Правильная установка рабочих органов влияет одновременно на производительность и качество работы машины. Наиболее эффективными рабочими органами являются конические щетки, имеющие более сложную конструкцию по сравнению с другими рабочими органами [8].

Анализ известных конструкций машин для сбора колорадского жука и их рабочих органов позволяет сделать вывод о том, что данные машины малопродуктивны, имеют высокую металлоемкость и энергопотребление, а также низкое качество работы: 30...45 % особей колорадского жука остается на картофельном поле, из них приблизительно половина вредителей остается на картофельной ботве, а остальная часть сыпается на поверхность гребня вокруг стеблей картофеля. Чтобы устранить вышеуказанные недостатки, разработана конструкция машины для сбора колорадского жука с рабочими органами нового типа.

Результаты исследования и их обсуждение. Наиболее перспективными рабочими органами являются комбинированные очесывающе-вибрационные или очесывающе-ударные на основе применения эластичных материалов для снижения травмирования ботвы. Для повышения полноты сбора целесообразно применять конические щетки с регулировкой углов наклона вертикальной оси вращения щетки в продольном направлении, т. е. вдоль траектории движения щетки для очесывания колорадского жука с листьев картофельной ботвы в различных направлениях в зависимости от сорта картофеля и периода его роста [2].

Рабочими органами в машине для сбора колорадского жука служат конические щетки, гофрированные боковины и рифленые пруты-ударники. Конусообразная щетка выполнена в форме перевернутого усеченного конуса и закреплена на вертикальной оси с возможностью свободного вращения. Диаметр большего основания конуса — от 0,35 до 0,60 м, меньшего — 0,05...0,15 м. Непосредственное воздействие на листву картофеля оказывают ворсинки, изготовленные из капроновой нити диаметром 0,5...2,0 мм [9].

Воздействие ворсинок на листья ботвы зависит от линейной и угловой скоростей щеток. В момент касания ворсинки щетки о листья ботвы происходит удаление особей колорадского жука путем очесывания.

В процессе удаления колорадского жука при движении щетки ее ворсинки, очесывая нижнюю поверхность листьев картофельной ботвы, удаляют вредителей, которые попадают в желоб.

Во время работы щетка (рисунок 1) вращается с угловой скоростью ω , очесывая особи колорадского жука ворсинками одновременно с листьев картофельной ботвы как с левого, так и с правого рядов. Началом захвата особей вредителя ворсинками происходит в момент нахождения рабочих поверхностей ворсинок в точках *A* и *D*. В точках *C* и *E* особи срываются с листьев картофельной ботвы и в конечном итоге, потеряв кинетическую энергию, падают в желоб машины за счет собственной силы тяжести. Ворсинка в расправленном состоянии при холостом ходе движения имеет длину L_B , а в рабочем положении длина ворсинки составляет величину L_P . Диаметр щетки в рабочем положении имеет величину $D_{щ.р}$. Длина рабочей зоны щетки составляет L_C .

Эффект удаления вредителей зависит от силы сцепления ворсинок щетки первоначально с поверхностью листьев картофельной ботвы, а затем с особями колорадского жука, а также от шероховатости вредителей и листьев. Чем больше сила сцепления ворсинок и чем меньше шероховатость листьев, тем эффективнее может быть произведен очес вредителей.

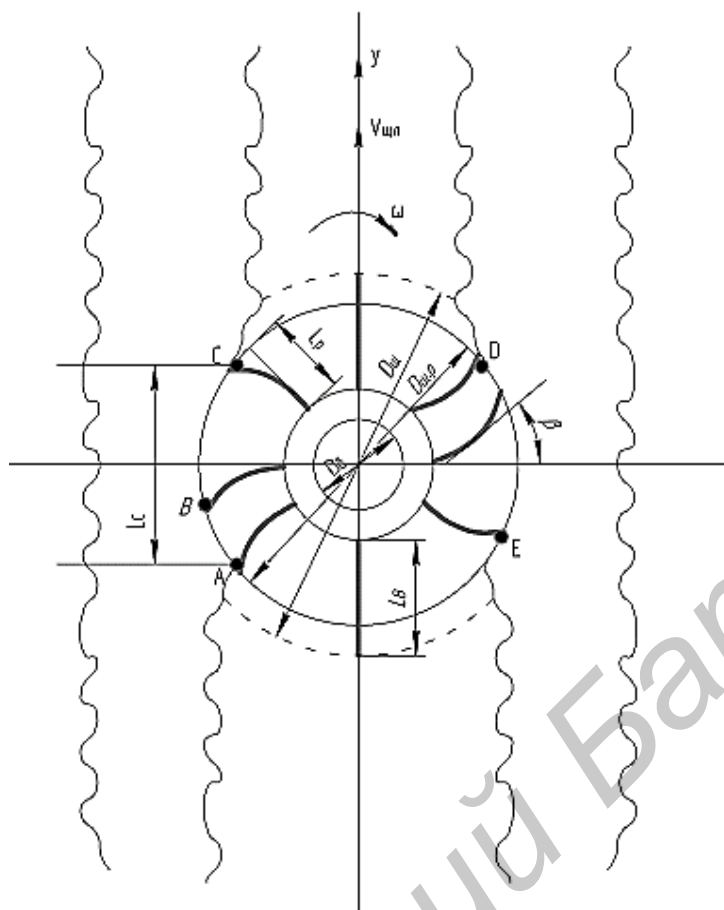


Рисунок 1. — Схема очесывания особей колорадского жука с листьев картофельной ботвы в междурядье (вид сверху)

Коническая щетка представляет собой внешнюю форму усеченного конуса, на поверхности которого закреплены полипропиленовые ворсинки диаметром от 0,5 до 1,2 мм и длиной 50 мм. Такая щетка будет работать эффективно, если окружная скорость ее достаточна для бесподпорного очесывания (15...25 м/с) и соблюдается необходимое соотношение между конструктивными и кинематическими параметрами машины для очесывания колорадского жука. Для определения этого соотношения важно знать, какой формы траекторию оставляет точка ворсинки конической щетки при ее перемещении.

Так как форма траектории будет повторяться, изобразим часть ее, соответствующую времени полного оборота ворсинки вокруг оси вращения щетки, при условии, что линейная скорость ворсинки больше скорости поступательного движения машины для очесывания колорадского жука.

Окружность, на которой расположена ворсинка щетки, разобьем на 12 равных частей (рисунок 2). Пусть точка A — начальное положение ворсинки, а t — время, в течение которого ворсинка пробегает $1/12$ длины окружности. Скорость машины за время t изобразим вектором V .

В результате вращения щетки за время t ворсинка A перейдет в точку A_1 , которая при поступательном движении машины за то же время переместится в такую точку B_1 , что $A_1B_1 = t$. В результате сложного движения ворсинка A займет положение точки B_1 . За время $2t$ ворсинка A займет положение такой точки B_2 , что $A_2B_2 = 2t$. Аналогично найдем положение ворсинки через $3t$, ..., $12t$. Оно определится, соответственно, точками B_3 , ..., B_{12} . Соединив построенные точки плавной кривой, получим вид траектории абсолютного движения ворсинки (полученная кривая — циклоида).

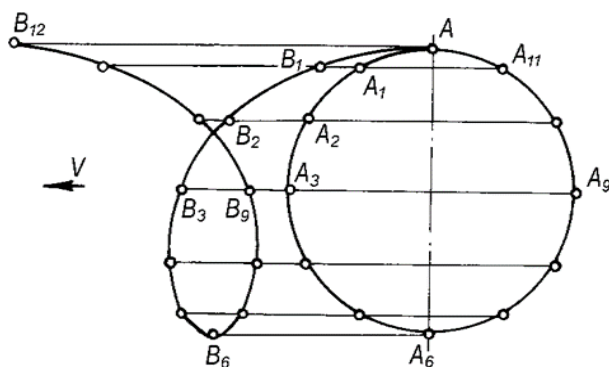


Рисунок 2. — Образование траектории движения ворсинки щетки

Рассмотрим работу двух противоположных ворсинок щетки, которые одновременно очесывают левый и правый ряды картофельной ботвы в прямоугольной системе координат с осями X и Y (рисунок 3). Уравнения движения точек A и B ворсинки 1 имеют следующий вид:

$$\begin{cases} X_A = Vt + r_0 \sin \varphi; \\ Y_A = r_0 \cos \varphi; \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_B = Vt + r_1 \sin \varphi; \\ Y_B = r_1 \cos \varphi. \end{cases}$$

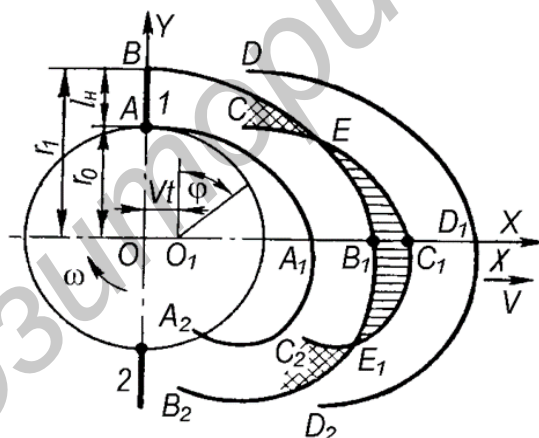


Рисунок 3. — Расчетная схема для определения параметров конической щетки

Движение ворсинки 1 соответствует траекториям AA_1A_2 и BB_1B_2 , между которыми она очесывает особь вредителя.

Ворсинка 2 движется по траекториям CC_1C_2 и DD_1D_2 . В зонах, где траектории крайних точек соседних ворсинок перекрываются, происходит повторный прогон ворсинкой обработанной площади листьев картофельной ботвы (заштриховано крестообразно).

Если траектория CC_1C_2 расположена впереди BB_1B_2 , то на площадке $EC_1E_1B_1$ (на рисунке заштриховано) особи не будут очесаны, что может привести к незначительному забиванию щетки вредителями и снижению эффективности ее работы. Для высококачественного очесывания необходимо, чтобы отклонение ботвы щеткой было равно нулю, для чего $OB_1 \geq OC_1$. Определим, какому показателю кинематического режима ($\lambda = \omega r_0 / V$) соответствует это условие [6].

Так как $OB_1 = X_{B_1}$; $OC_1 = X_{C_1}$, то, исходя из вышеприведенного условия, имеем $X_{B_1} \geq X_{C_1}$.

Точке B_1 соответствует $\varphi = \pi / 2$, тогда $t = \pi / 2\omega$, а $X_{B_1} = V \frac{\pi}{2\omega} + r_1$, или $X_{B_1} = r_0 \left(\frac{\pi}{2\lambda} + \frac{r_1}{r_0} \right)$.

Принимая число ворсинок равным z и учитывая, что траектории движения точек A и C описываются одним и тем же уравнением, имеем $X_{C_1} = r_0 \left(\frac{\pi(4+z)}{2z\lambda} + 1 \right)$.

Заменяя в неравенстве X_{B_1} и X_{C_1} их выражениями и решая, находим $\lambda \geq \frac{2\pi}{z \left(\frac{r_1}{r_0} - 1 \right)}$.

Так как $r_1 = r_0 + l_n$ (здесь l_n — длина ворсинки), то имеем $\lambda \geq \frac{2\pi r_0}{z l_n}$, $\lambda \geq \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 200}{3 \cdot 50} \approx 8,4$.

Из полученного неравенства следует, что для высококачественного очеса целесообразно увеличивать линейную скорость щетки. Но при возрастании ωr_0 повышается число повторного холостого хода соседней ворсинки, очесывающей лист картофельной ботвы в зоне, где предыдущая ворсинка удалила особь вредителя, из-за чего снижается эффективность работы щетки и незначительно повышаются энергозатраты. Для работы конической щетки необходимо минимально допустимое значение $\lambda \approx 8,4$, что обеспечивает рабочие скорости до 7 км / ч.

Длина l_n ворсинки является взаимосвязанным параметром с радиусом щетки. Определим ее из условия работы щетки без пропусков (площадок, по которым ворсинка не проходила).

Учитывая, что перемещение машины за время одного оборота щетки $L = V t_{об}$, а время оборота $t_{об} = 2\pi / \omega$, определим подачу L :

$$L = \frac{2\pi V}{\omega} = \frac{2\pi r_0}{\lambda},$$

$$L = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 200}{8,4} = 149,5 \text{ мм}.$$

При одной ворсинке в один ряд по окружности щетки будут получаться пропуски неочесанных особей колорадского жука, если длина ворсинки l_n меньше подачи L . При z ворсинок необходимо, чтобы $l_n \geq L / z$.

Подставляя, получим $50 \geq 49,8$.

Однако если $l_n \gg L / z$, то длина рабочей части ворсинки увеличится, что приведет к снижению усилия очеса ворсинкой, а значит, особь колорадского жука может остаться на листе картофельной ботвы, тем самым снизится эффект очесывания вредителей картофеля.

Заключение. Теоретически обоснован эффективный кинематический показатель работы конической щетки, который можно рассчитать по вышеприведенным формулам. Чтобы повысить эффективность очесывания особей колорадского жука с листьев картофельной ботвы, необходимо корректировать параметры конической щетки, т. е. можно изменить диаметр барабана щетки и длину ворсинки.

Список цитируемых источников

1. О производстве и обращении органической продукции : Закон Респ. Беларусь от 9 нояб. 2018 г. № 144-З : принят Палатой представителей 2 окт. 2018 г. : одобр. Советом Респ. 24 окт. 2018 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. — 17.11.2018. — 2/2582.

2. *Бурдейко, В. А.* Расчет щеток машины для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис // Вестник БарГУ. Серия «Технические науки». — 2021. — Вып. 9.
3. *Бурдейко, В. А.* Результаты предварительных испытаний новых рабочих органов машины для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. В. Дубень // Техника и технологии: инновации и качество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., 20 дек. 2018 г., Барановичи, Респ. Беларусь / редкол.: В. В. Климук (гл. ред.), Ю. Е. Горбач (отв. ред.) [и др.]. — Барановичи : БарГУ, 2018.
4. *Бурдейко, В. А.* Машина для удаления колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. М. Дыдышко // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе — сегодня и завтра : сб. науч. ст. 6-й Междунар. науч.-практ. конф., 2 нояб. 2022 г., Гомель. — Гомель : Гомсельмаш, 2022. — С. 233—237.
5. *Бурдейко, В. А.* Техническая характеристика ворсинок щетки для счесывания колорадского жука / В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 24—25 нояб. 2022 г., Минск. — Мн. : БГАТУ, 2023.
6. *Бурдейко, В. А.* Расчёт параметров лотка и копиров машины для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис, Э. В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси ; РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». — Вып. 57. — Мн. : Бел. наука, 2024. — С. 225—228.
7. *Бурдейко, В. А.* Математическое моделирование удаления колорадского жука применением устройства с очесывающей конической щеткой / В. А. Бурдейко, В. Б. Ловкис // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию образования БГАТУ, Минск, 16—17 окт. 2024 г. — Мн. : БГАТУ, 2024.
8. *Бурдейко, В. А.* Перспективные рабочие органы машин для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко // Техника и технологии: инновации и качество : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 18 дек. 2015 г., Барановичи, Респ. Беларусь. — Барановичи : БарГУ, 2015. — С. 7—8.
9. *Бурдейко, В. А.* Машина и рабочие органы для сбора колорадского жука / В. А. Бурдейко, И. В. Дубень // Вестник БарГУ. Серия «Технические науки». — 2018. — Вып. 6. — С. 87—91.

Поступила в редакцию 02.04.2026.