

Література

1. Механізація виробництва продукції тваринництва / І.І. Ревенко, Г.М. Кукта, В.М. Манько та ін. за ред. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1994. – 264 с.
2. Белянчиков М.М., Механізація тваринництва: посібник для с.г. технікумів. / Белянчиков М.М., Смирнов А.І. – К.: Вища школа, Головне видавництво, 1980. – 376 с.
3. Яворський А.А. Механизация и электрификация животноводства / Яворский А.А., Ниженковский В.Н., Карпенко С.А. Учеб. пособие для с.х. техникумов. – 2-е издание. – К.: Вища школа. Главное узд-во, 1982. – 400с.
4. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст] / Макаров Ю. И. – М. : Машиностроение, 1993. – 216 с.

Рецензент д.т.н., проф. Б.М. Гевко

УДК 631.303

© В.В. Шевчук
УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

АНАЛИЗ КАЧЕНИЯ ИГЛ ИГОЛЬЧАТОЙ БОРОНЫ ПО ПОЧВЕ И ДЕЙСТВУЮЩИХ НА НИХ СИЛ

В статье рассмотрены силы, действующие на иглы игольчатой бороны при качении по почве, и особенности движения этих игл.

ДВИЖЕНИЕ, ДИСК, ИГОЛЬЧАТАЯ БОРОНА, ПОЧВА, СИЛА, ОСЬ, СЕКЦИЯ, ЦЕНТР.

Постановка проблемы. Для обработки почвы применяются игольчатые бороны. Эти рабочие органы исследованы рядом авторов [1-6], однако вопросы взаимодействия игл с почвой выяснены недостаточно. Ввиду этого, исследование работы этих борон представляет значительный интерес.

Анализ последних исследований и публикаций. По работе игольчатых борон проведено много исследований [1-6], но силы, действующие на иглы борон при обработке почвы, исследованы недостаточно; недостаточно также исследованы особенности движения этих игл.

Цель исследования. Провести анализ сил, действующих на иглы борон при обработке почвы, и определить особенности движения этих игл.

Результаты исследований. Рассматриваемая нами борона относится к устройствам, представляющим собою ведомые звенья, совершающие по почве качение в продольно-вертикальной плоскости (рис. 1). В этой плоскости движутся диски с иглами, которые углубляются в почву ниже линии $e-e$ и производят ее прокол и рыхление; при этом может происходить также извлечение сорняков из почвы.

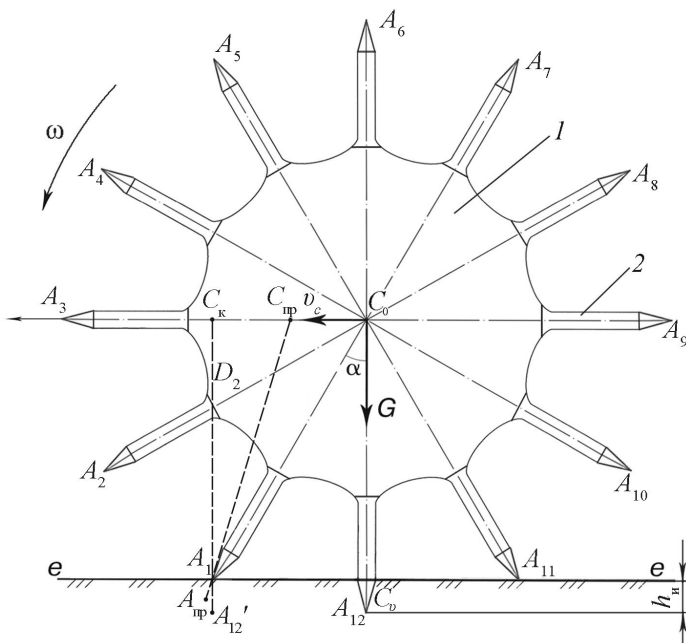


Рис. 1 – Схема движущегося по почве диска бороны с иглами

Игольчатая борона (рис. 1) содержит раму, ступицы, диски 1 и иглы 2 . Ступица крепится на валу бороны. Диск выполнен в виде плоской круглой фигуры, к которой крепятся иглы. Каждая игла имеет цилиндрическую часть и конусный конец.

Число игл по контуру должно быть таким, чтобы расстояния между концами соседних игл были одинаковыми, т.е. чтобы угол между соседними иглами был один и тот же. Чаще всего устанавливается угол между соседними иглами 30 градусов, но он может быть и больше, например 45 градусов. Обозначим этот угол α .

Движение бороны осуществляется под действием горизонтально приложенных в центрах дисков сил. Диск на рис. 1 движется влево и рассматривается как твердое тело, вращающееся против часовой стрелки вокруг оси C_0 , перпендикулярной плоскости чертежа и движущейся влево. Углубление игл в почву происходит под действием сил тяжести дисков и всей бороны.

Как видно из рис. 1, почва взаимодействует с бороней только в тех случаях, когда иглы находятся в нижней зоне $A_1A_{12}A_{11}$. В остальной зоне (соответствующей на рис. 1 углу около 300° по дуге $A_{11}A_{10}A_9A_8A_7A_6A_5A_4A_3A_2$) иглы не взаимодействуют с почвой; там могут быть лишь случаи полета отдельных частичек почвы на поверхности игл и диска, что существенно на работу бороны не повлияет. Ввиду этого в дальнейшем будем рассматривать взаимодействие с почвой игл, находящихся в нижней зоне.

Каждая игла в нижнем положении при работе существенно углубляется в почву; конец иглы A_1 начинает углубляться в почву, когда угол $A_{12}C_0A_1$ (угол α) равен около 30° , и заканчивает прокол, когда игла C_0A_1 занимает вертикальное положение C_0A_{12} острием вниз (рис. 1).

Из изложенного следует, что взаимодействие каждой иглы с почвой происходит на участках A_1A_{12} и $A_{12}A_{11}$ (рис. 1) причем на участке A_1A_{12} игла опускается в почву, а на участке $A_{12}A_{11}$ игла выходит из почвы. На всем нижнем участке иглы производят полезную работу. Эти явления повторяются приблизительно через каждые 30° поворота диска с иглами, зависит это от угла α и максимальной глубины h_n проникновения иглы в почву (рис. 1).

С учетом изложенного проведем дальнейший анализ прокалывания почвы иглами.

При движении центра C бороны влево со скоростью v_C мгновенный центр вращения нижней вертикальной иглы окажется в нижней части прямой CA_{12} (рис. 1), а точнее, в нижнем конце иглы A_{12} . Обоснование к тому, что нижний конец иглы является мгновенным центром вращения, следующее: этот конец иглы находится глубоко в почве и ему трудно быстро менять свое положение. Таким образом, считаем, что в этой точке A_{12} (рис. 1) находится мгновенный центр вращения, который обозначим C_v . Вокруг этого центра диск с иглами поворачивается, когда игла колеблется вокруг своего вертикального нижнего положения, как, например, вокруг положения точки A_{12} (рис. 1).

В общем случае иглы могут быть прикреплены к дискам чаще, чем это показано на рис. 1, но так не делается из-за того, что диаметр диска с иглами невелик (около 28...290 мм), а глубина погружения игл в почву также невелика (порядка 4...6 см). При таких условиях иглы

крепятся к диску через 25...30 мм; это означает, что расстояние между концами двух соседних игл равно 75...80 мм. Для конструкций бороны такого типа проводится данный анализ.

На рис. 1 показаны начало и конец взаимодействия иглы с почвой при входе в почву (прямая C_0A_1) и выходе из нее (прямая C_0A_{11}). За один оборот диска иглы 12 раз совершают проколы почвы через одинаковые расстояния, соответствующие времени поворота диска на 30° вокруг его центра C_0 .

Выше уже говорилось, что в зоне $A_{12}-A_{11}$ (рис. 1) иглы выходят из углублений в почве. Так как выход игл из почвы осуществляется при небольших затратах энергии, то будем считать, что сила, необходимая для вытягивания иглы из почвы, весьма мала, т.е. близка к нулю. Это значит, что силовой расчет игл следует проводить только для случая углубления иглы в почву (зона A_1-A_{12} на рис. 1), т.е. для случая, когда сила сопротивления почвы внедрению в нее иглы существенна и действует снизу вверх по линии иглы.

Путь центра диска влево со скоростью v_c для совершения концом A_1 иглы C_0A_1 прокола почвы в точке A_1 равен по длине расстоянию C_0C_k (здесь C_0 – начальное положение центра диска, а C_k – конечное положение центра диска). В течение времени свершения этого прокола игла, поворачиваясь с угловой скоростью ω , углубляется в почву на глубину A_1A_{12}' . Промежуточное положение центра C иглы на пути C_0C_k будет в середине этого расстояния C_0C_k , эта середина (т.е. промежуточное положение) обозначена $C_{пр}$, в момент нахождения центра C в точке $C_{пр}$ конец иглы будет в точке $A_{пр}$.

Эти три положения центра представлены и на рис. 2, на нем показаны положения C_0A_1 , $C_{пр}A_{пр}$, C_kA_{12}' диска с иглой; показаны также действующие на диск и иглу силы. На диск (рис. 2) действуют сила тяжести G и движущая сила P_0 ; со стороны конца $A_{пр}$ иглы на диск действует еще сила Q сопротивления почвы при внедрении в нее этой иглы. Эти силы показаны приложенными в средней точке $C_{пр}$ пути C_0C_k , который проходит этот центр $C_{пр}$ из положения C_0 в начале прокола почвы иглой DA_1 до положения C_k центра диска в конце прокола почвы этой иглой, обозначенной C_kA_{12}' . Промежуточное положение центра $C_{пр}$ находится, как уже указывалось, по середине между точками C_0 и C_k .

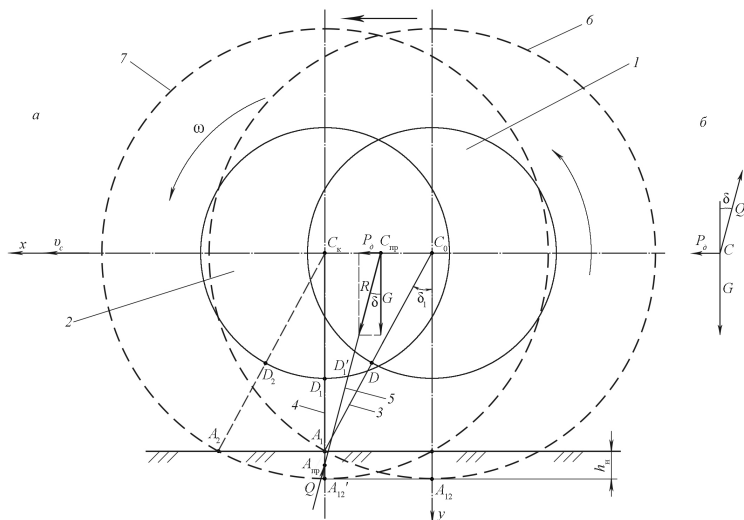


Рис. 2 – Схема двух последовательных положений движущегося диска бороны с иглами C_0A_1 и C_kA_{12}' , соответствующих начальному и конечному положениям DA_1 и D_1A_{12}' иглы при проколе почвы (а) и силы, действующие на центр C диска (б): 1 и 2 – положения диска в начале движения и в конце движения; 3 и 4 – игла в положении начала прокола почвы и окончания прокола почвы; 5 – промежуточное положение иглы; 6 – окружность, по которой движутся концы игл диска в начале прокола; 7 – окружность, по которой движутся концы игл диска в конце прокола почвы

Как видно из рис. 1, путь x_n центра C_0 диска бороны при его движении для совершения одного прокола (т.е. расстояние C_0C_k между проколами почвы по пути движения бороны) равен:

$$x_n = r_{дн} \sin \alpha, \quad (1)$$

где $r_{дн}$ – радиус диска с иглами.

Пусть при движении бороны влево со скоростью v_c и вращении диска с иглами со скоростью ω вокруг центра диска против часовой стрелки очередной иглой, которая в начале коснулась своим концом поверхности почвы, будет игла C_0A_1 (рис. 2). При дальнейшем движении центра диска через некоторое время он окажется в середине пути C_0C_k , т.е. в точке $C_{пр}$. Пусть в это время на центр $C_{пр}$ бороны действует ее сила тяжести G , а движение центра влево осуществляется под действием горизонтально направленной движущей силы P_δ . Если геометрически сложить силы P_δ и G , то получим равнодействующую силу R , которая является диагональю прямоугольника, построенного на указанных силах P_δ и G . Диагональ эта отклонена от вертикально направленной силы G в

сторону движения бороны на угол δ . Начальное значение этого угла будет δ_1 , а конечное значение угла δ равно 0. Угол δ_1 равен α , а угол δ меньше α .

Как уже указывалось, движение центра C иглы осуществляется влево до точки C_k , острие A иглы при этом углубляется в почву до точки A_{12}' . Во время углубления в почву игла поворачивается в сторону уменьшения угла δ , вследствие чего в конце углубления эта игла D_1A_{12}' становится вертикально. При опускании иглы в почву и ее повороте игла эта преодолевает сопротивление почвы с силой Q , которая зависит от твердости этой почвы. Сила R равна силе Q и противоположно направлена.

Отличие этой схемы от схемы, показанной на рис. 1, состоит в том, что на рис. 1 показаны все иглы, а на рис. 2 подробно показана работающая игла, начинающая прокол в положении DA и заканчивающая прокол в положении D_1A_{12} . Следующей работающей иглой будет игла D_2A_2 (рис. 1), ее начальное положение изображено на рис. 2 штриховой линией D_2A_2 (в следующем положении диска с центром, который обозначен C_k). Игла D_2A_2 отклонена от положения D_1A_{12} работающей иглы на некоторый угол. При увеличении пути x движения центра C и росте угла поворота диска с иглами возрастает действие силы G на иглу DA_1 ; это способствует преодолению возрастающей силы Q сопротивления при проколе почвы за счет уменьшения действия на предыдущую иглу, находящейся в зоне расположения точки A_{12} .

Ввиду того, что сила Q является силой сопротивления одной иглы углублению в почву, то для большей точности следует считать G силой тяжести той части бороны, которая приходится на одну работающую иглу, а P_o является той частью движущей силы, которая также приходится на одну работающую иглу.

Из изложенного видно, что мы имеем здесь плоскую систему из трех сил, из которых две считаются известными (это сила G и сила Q сопротивления почвы внедрению в нее иглы, определяемая опытным путем), а силу P_o (движущая борону) надо определить. Линии действия этих сил пересекаются в одной точке (такой точкой на рис. 2, *a* является точка C_{np}). Считаем, что машина движется равномерно, т.е. ускорение ее равно нулю. Силы эти взаимно уравновешиваются. Тогда сила P_o равна (см. рис. 2, *b*):

$$P_o = Q \sin \delta. \quad (2)$$

Сила Q зависит от глубины λ_k погружения иглы в почву. Согласно опытным данным Q зависит от λ_k следующим образом:

$$Q = k \lambda_k, \quad (3)$$

где k – опытный коэффициент.

При $\lambda_k = 0$, Q равно нулю; тогда и сила P_o также равна нулю.

Из схем на рис. 1 и 2 видно, что игла в нижней ее части при нахождении в почве поворачивается. Этот поворот способствует улучшению рыхления почвы.

Кроме сопротивления почвы проколу, механизмы бороны преодолевают еще сопротивления вследствие трения в шарнирах и сопротивление воздуха, но эти сопротивления незначительны.

Представленное исследование выполнено для случая, когда окружность, по которой расположены диск с 12 иглами, делится на 12 частей. В этом случае наибольшая глубина h_n погружения игл в почву равна A_1A_{12}' (рис. 1), которая в свою очередь равна:

$$h_n = r_{ди} - C_k A_1 = r_{ди} - r_{ди} \cos \alpha = r_{ди} (1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

где $r_{ди}$ – радиус диска с иглами.

Если глубину h_n надо увеличить, то это можно сделать, увеличивая радиус $r_{ди}$ или вес G .

Выводы. Проанализировано движение игл игольчатой бороны в продольно-вертикальной плоскости, в результате чего составлено равенство (2), характеризующее условие внедрения иглы в почву. Сделаны также рекомендации по улучшению конструкции и работы бороны. Уравнение (2) действительно в течение периода времени углубления в почву иглы бороны, начиная от точки A_1 до точки A_{12} .

Литература

1. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (частина 1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків: ОКО. – 2001. – 444 с.
2. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Колос, 1994. – 751 с.
3. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
4. Хайлис. Г.А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин. – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 235 с.
5. Кравчук В., Хайлис Г., Шевчук В. О качении дисков игольчатой бороны при перемещении по поверхности почвы // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 10. – С. 23-25.
6. Мазитов Н. Теория реактивных рабочих органов почвообрабатывающих машин. – Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ, 2011. – 280 с.

Рецензент д.т.н., проф. Г.А. Хайліс