

АНАЛИЗ МАШИН ДЛЯ ПОСЕВА ПОД МУЛЬЧИРУЮЩУЮ ПЛЕНКУ И ОБОСНОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

В. И. КОЦУБА, К. Л. ПУЗЕВИЧ, В. В. ПУЗЕВИЧ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: tech_service@baa.by

В. М. КУЗЮР

УВО «Брянский государственный аграрный университет»,
г. Брянск, Российская Федерация, 243365, kvming@gmail.com

(Поступила в редакцию 18.06.2021)

В статье приведен анализ машин для посева с мульчированием почвы пленкой, а также теоретических зависимостей движения ротационных органов машин для посева пропашных культур под мульчирующую пленку.

Мульчирование почвы пленкой применяется для повышения урожайности культур и улучшения качества продукции. Мульча задерживает испарение влаги, способствует равномерному ее распределению как в верхних, так и в нижних горизонтах почвы, на 3–6 % повышая влажность корнеобитаемого слоя.

При использовании пленки для мульчирования почвы возможны два способа посева. По первому способу посев выполняется сеялками точного высева с последующим укрытием посевов пленкой. Однако этот способ пригоден только для био-разлагаемых пленок с перфорацией, т.к. пленка прорывается ростками растений. Второй способ включает укрытие почвы пленкой и посев семян через пленку. Способ посева через пленку является более универсальным, т.к. позволяет применять различные укрывные материалы. Однако в Республике Беларусь отсутствуют машины для реализации данной технологии возделывания.

Высевающее колесо машин для посева через пленку представляет собой ротор с горизонтально-поперечной осью вращения. Основными его характеристиками являются траектория, величина и направление скорости характерных точек, направление ускорения. Точка на поверхности высевающего колеса при движении по поверхности поля описывает циклоиду. Анализ циклоид показал, что заделывающие рабочие органы перемещаются в почве в горизонтальной плоскости на расстоянии от 65,69 мм (при глубине заделки семян 40 мм) до 115,86 мм (при глубине заделки семян 120 мм), что ограничивает расстояние между семенами в ряду.

Имеющиеся теоретические зависимости достоверно описывают движение активных ротационных органов и пассивных роторов, для которых можно пренебречь сопротивлением среды. Следовательно, необходимо разработать теоретические зависимости, описывающие движение высевающих аппаратов ротационного типа с учетом сопротивления почвы перемещению в ней заделывающих стержней или стаканчиков, силы трения высевающего колеса по поверхности пленки и деформации поверхности почвы под весом высевающего колеса.

Ключевые слова: мульчирующая пленка, сеялка, высевающий аппарат, ротор, циклоида.

The article provides an analysis of machines for sowing with soil mulching with a film, as well as theoretical dependencies of the movement of rotary organs of machines for sowing row crops under mulching film.

Soil mulching with film is used to increase crop yields and improve product quality. Mulch delays moisture evaporation, contributes to its uniform distribution both in the upper and lower soil horizons, increasing the moisture content of the root layer by 3–6 %.

When using a film for mulching the soil, two sowing methods are possible. According to the first method, sowing is carried out with precision seeding drills, followed by covering the crops with film. However, this method is only suitable for biodegradable films with perforations, because the film breaks through with plant sprouts. The second method involves covering the soil with a film and sowing seeds through the film. The method of sowing through a film is more versatile, since it allows the use of various covering materials. However, in the Republic of Belarus there are no machines for the implementation of this cultivation technology.

The sowing wheel of machines for sowing through the film is a rotor with a horizontal transverse axis of rotation. Its main characteristics are the trajectory, the magnitude and direction of the velocity of the characteristic points, the direction of acceleration. A point on the surface of the seeding wheel as it travels over the surface of the field moves along a cycloid. The analysis of the cycloid showed that the seeding working bodies move in the soil in the horizontal plane at a distance from 65.69 mm (with a seeding depth of 40 mm) to 115.86 mm (with a seeding depth of 120 mm), which limits the distance between seeds in a row.

The available theoretical dependences reliably describe the movement of active rotary organs and passive rotors, for which the resistance of the medium can be neglected. Therefore, it is necessary to develop theoretical dependencies that describe the movement of rotary-type seeding devices, taking into account the resistance of the soil to the movement of embedding rods or cups in it, the friction force of the seeding wheel over the film surface and deformation of the soil surface under the weight of the seeding wheel.

Key words: mulching film, seeder, seeding device, rotor, cycloid.

Введение

Мульчирование почвы пленкой применяется для повышения урожайности различных культур и улучшения качества продукции. В ряде зарубежных стран (Япония, США, ФРГ, Франция, Италия и др.) пленочное мульчирование стало обычным технологическим приемом при культивировании растений в открытом и защищенном грунте и проводится на сотнях тысяч гектаров [1].

Мульчирование оказывает влияние на водный, воздушный и тепловой режимы почвы. Мульча задерживает испарение влаги и способствует равномерному ее распределению как в верхних, так и в нижних горизонтах почвы, на 3–6 % повышая влажность корнеобитаемого слоя.

Благодаря этому лучше сохраняется структура грунтов, на их поверхности не образуется корка. Кроме того, мульча ускоряет биологические процессы в почве, обеспечивает лучшее снабжение растений питательными веществами. Все это положительно сказывается на росте и развитии растений, ускоряет созревание и увеличивает урожай от 40 до 60 %. Это обстоятельство в районах с недостаточным увлажнением и в сухие годы играет положительную роль, улучшая водоснабжение растений. Экономия воды составляет около 60 % [2].

Основная часть

Ряд зарубежных фирм, таких как Samco Agricultural Manufacturing LTD, Forigo Roteritalia, Spapperi NT SRL выпускают машины для посева семян и мульчирования посевов пленкой. При этом возможны два способа посева.

Первый способ предполагает посев семян сеялками точного посева с последующим укрытием посевов пленкой. Примером этой технологии является сеялка SAMCO 41HD для посева кукурузы под мульчирующую пленку [3]. Сеялка Samco 41HD имеет каток в передней части для образования твердого семенного ложа с постоянной глубиной посева. Этот каток также является приводной передачей для высевающих элементов. Посев осуществляется пневматическим дисковым высевающим устройством Optima HD Kverneland.

После прохода высевающего аппарата почва укрывается биоразлагаемой пленкой. При этом одной полосой пленки укрываются два рядка кукурузы. Фирма SAMCO производит четыре типоразмера сеялок: двухрядная SAMCO 2200, четырехрядная SAMCO 41HD, шестирядная SAMCO 7100 и восьмьрядная SAMCO 80PT (табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики сеялок SAMCO

Модель	22TR	4300	41HD	7100	60HD	60PT	80PT
Рабочая ширина, м	1,5	3,3	5,3	4,5	4,5	4,5	6,2
Всего строк, шт.	2	4	4	6	5	6	8
Междурядье под пленкой, см	70	70	70	70	70	70	70
Рабочая скорость, км/ч	5–7	5–7	5–7	5–7	5–7	5–7	5–7
Бак для гербицидов, л	200	1200	1200	1200	1200	2000	2000
Потребная мощность трактора, л.с.	50–60	100–120	100–120	150–170	150–170	120–150	160–180

Однако этот способ пригоден только для специальных биоразлагаемых пленок с перфорацией, т.к. пленка прорывается ростками растений или при посадке рассады, которая высаживается в прорезанные заранее отверстия. Для данной технологии ООО «ЛидаТехмаш» выпускает пленкоукладчик УПТ-1 для мульчирования почвы пленкой или укрывным материалом с одновременным внесением удобрений и пробивкой отверстий с заданным шагом.

Пленкоукладчики-грядообразователи AL-S14 PLUS фирмы Checchi & Magli образуют уплотненные ровные грядки, закрываемые пленкой, которые потом окучиваются. Рабочий процесс осуществляется при помощи переднего колеса из нержавеющей стали, которым земля уплотняется и трамбуется, а также парного ролика-разматывателя рулонов (нейлон, бумага, целлюлоза, биоразлагаемые материалы) шириной до 1,4 м и лемеха-укладчика. Конструкция машины позволяет использовать ее для формирования гряд или для укладки пленки отдельно [4].

Второй способ предполагает подготовку почвы, укрытие ее пленкой и посев семян через пленку. Компания Samco производит сеялку PM 8220, которая уплотняет почву, укладывает пленку и точно высевает семена с помощью перфоратора колесного блока, обеспечивающего точную глубину посева и расстояние между семенами. Сеялка позволяет осуществлять посев в пленку шириной 1,2...2,2 м, а также устанавливать расстояние между семенами в ряду от 23 см до 75 см и расстояние между рядами семян от 10 см до 250 см [5].

В сеялке используются два типа систем доставки семян. При первом способе семена пневмосистемой распределяются по перфорированным отверстиям. Это позволяет выбрать количество семян, посеянных на одно отверстие. Чтобы достичь целевого процента всхожести или в соответствии с существующей системой выращивания, можно высевать от 1 до 20 семян на отверстие. Это достигается подбором перфораторного колеса, чтобы оно соответствовало размерам семян и норме посева.

При втором способе используются высевающие аппараты точного посева Kverneland Accord, позволяющей высевать одно семя на отверстие. Настройка на культуру и регулировка нормы посева осуществляется сменой семенного диска и подбором перфораторного колеса.

Комбинированная машина для посева с мульчированием пленкой Spapperi SMP состоит из пневматической сеялки и пленкоукладчика и позволяет за один проход замульчировать почву пластиковой пленкой или укрывным материалом, пробить отверстия в пленке, высеять семена (диаметром от 4 мм) через эти отверстия и прикатать их сверху. Дополнительно может быть оборудована приспособлением для укладки ленты капельного орошения под пленку [6].

Колеса сеялки со специальными полыми спицами (рис. 1) присасывают семена из бункеров, пробивают пленку и, когда каждая труба достигает вертикального положения, укладывают семена в почву. Сеялка обеспечивает расстояние между рядами – 35...75 см, расстояние между семенами в ряду – 18 см, глубина посева – 4,5 см [6].

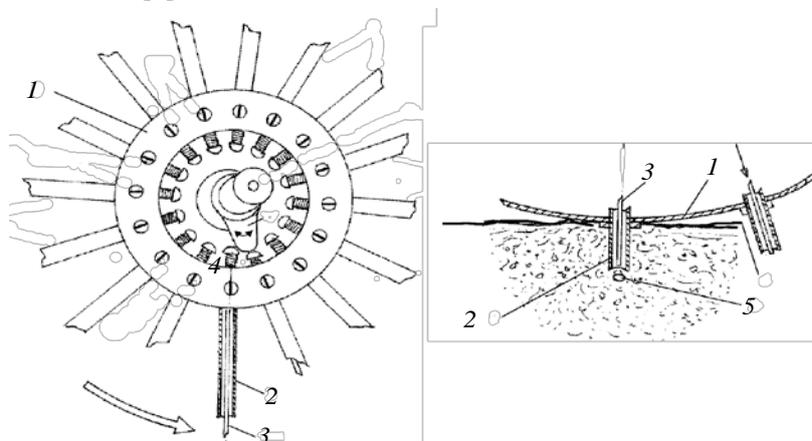


Рис. 3. Схема высева семян рабочими органами машины Sparperi SMP: 1 – высевающее колесо; 2 – высевающие трубки; 3 – очищающие спицы; 4 – кулачок; 5 – семя

Очистка высевающих спиц от почвы выполняется воздушным потоком и металлическими стержнями, проходящими внутри спиц. Стержни 3 проходят внутри спиц 2 и соединены со ступицей 1 таким образом, чтобы иметь осевое смещение относительно спицы, чтобы обеспечить выход их концов через соответствующее сопло.

Стержни возвращаются в исходное положение внутрь спицы с помощью пружин. Ступица колеса 1 внутри содержит кулачковый элемент 4, обеспечивающий, во время качения колеса, приведение в действие одной из спиц, проходящей через спицу, которая уложила семя 5 в отверстие в земле.

Способ посева через пленку является более универсальным, т.к. позволяет применять различные укрывные материалы. Однако в Республике Беларусь отсутствуют машины для реализации данной технологии возделывания, а зарубежные аналоги являются весьма дорогостоящими.

Основными характеристиками движения высевающего колеса является вид траектории, величина и направление скорости наиболее характерных точек, а в ряде случаев и направление ускорения [7].

Высевающее колесо представляет собой ротор с горизонтально-поперечной осью вращения (рис. 2). Уравнения траектории его движения описываются уравнениями [7]:

$$\begin{aligned} x &= v_{\text{п}}t + R_i \cos \omega t; \\ y &= 0; \\ z &= -R_i \sin \omega t, \end{aligned} \quad (1)$$

где R_i – расстояние от оси вращения ротора до рассматриваемой точки (радиус ротора), м; $v_{\text{п}}$ – скорость поступательного движения ротора, м/с; t – время движения, с; ω – угловая скорость ротора, с^{-1} ; ωt – угол поворота ротора, отсчитываемый от оси Ox , рад.

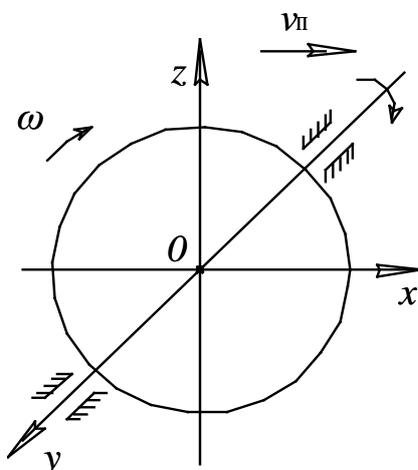


Рис. 2. Схема для описания параметров движения высевающего колеса

Абсолютная скорость движения ротора описывается уравнением:

$$v = v_{\pi} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin \omega t}, \quad (2)$$

где $\lambda = \omega R_i / v_{\pi}$ – кинематический параметр ротора.

Точка на поверхности высевающего колеса при его движении по поверхности поля описывает циклоиду. Рассмотрим движение внедряющей части высевающего колеса при перекатывании его обода по поверхности поля без скольжения при различной глубине посева семян. Исходными данными для расчета служит требуемая глубина посева, радиус (диаметр) высевающего колеса и скорость поступательного движения высевающего колеса.

Анализ отраслевых регламентов возделывания сельскохозяйственных культур и конструкций сеялок показал, что глубина посева может изменяться от 40 до 120 мм. Диаметр высевающего колеса у зарубежных машин составляет 700...800 мм. Рабочая скорость агрегатов составляет 5...7 км/ч, или 1,39...2,78 м/с. В математическом онлайн калькуляторе Desmos были построены циклоиды, соответствующие различной глубине заделки семян (рис. 3) [8].

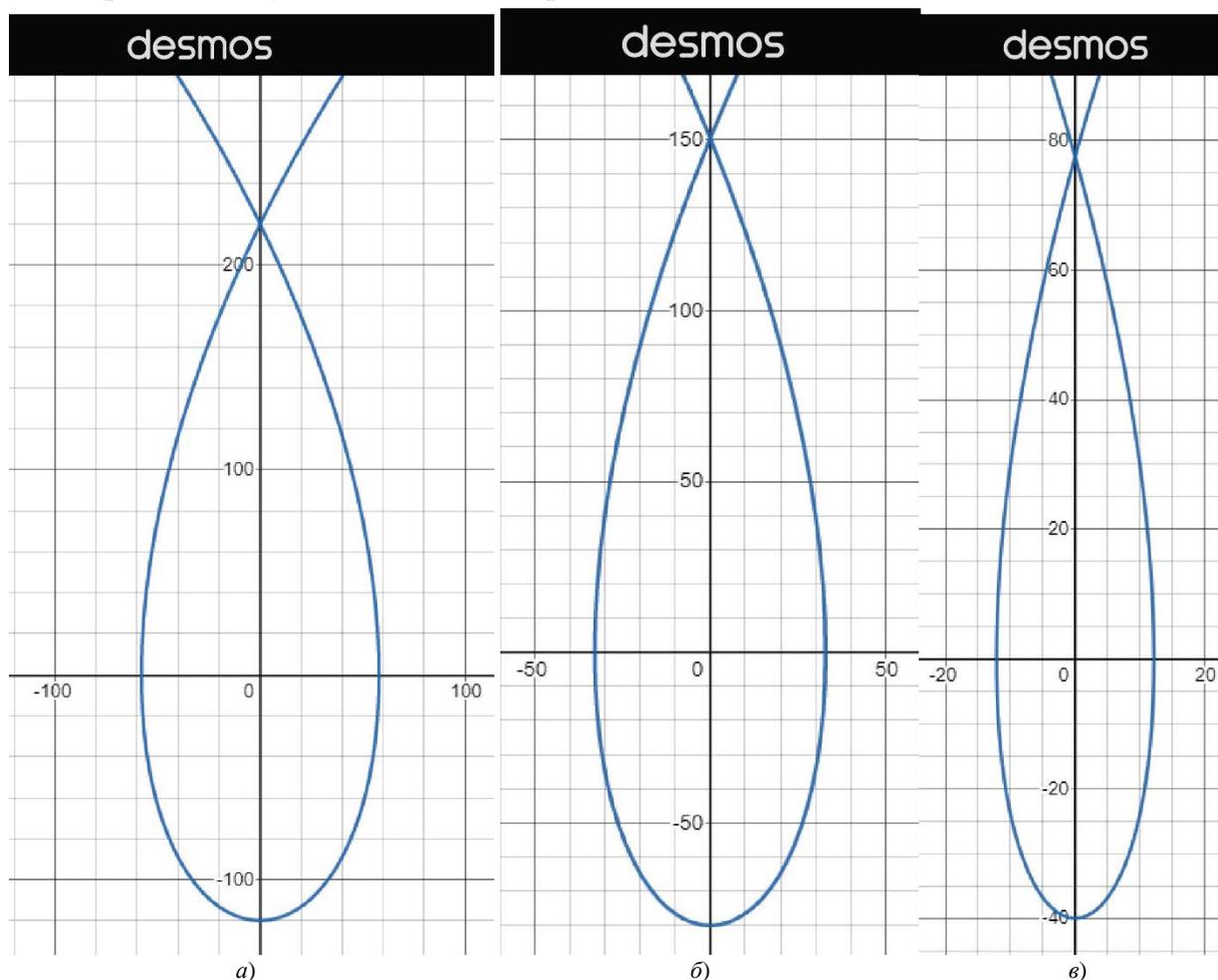


Рис. 3. Участок циклоиды, описывающий движение заделывающих органов в почве, при глубине посева 120 мм (а), 80 мм (б) и 40 мм (в)

Анализ циклоид показал, что заделывающие рабочие органы (полые стержни или высевающие стаканчики) в горизонтальной плоскости перемещаются на расстояние от 65,69 мм (при глубине заделки семян 40 мм) до 115,86 мм (при глубине заделки семян 120 мм), что ограничивает расстояние между семенами в ряду, которое должно быть больше полученного расстояния.

Кроме того, приведенные теоретические зависимости и полученные по ним циклоиды достоверно описывают движение активных ротационных органов и пассивных роторов, для которых можно пренебречь сопротивлением среды.

Для высевающих аппаратов ротационного типа на движение заделывающих рабочих органов будет оказывать сопротивление почвы. Следовательно, необходимо разработать теоретические зависимости, описывающие движение роторов с учетом сопротивления почвы перемещению в ней заделы-

вающих спиц или стаканчиков, силы трения высевающего колеса по поверхности пленки и деформации поверхности почвы под весом высевающего колеса.

Заключение

Способ посева через пленку является более универсальным, т.к. позволяет применять различные укрывные материалы. Следовательно, требуется разработка высевающего аппарата, обеспечивающего высев семян через мульчирующую пленку с регулируемым расстоянием между семенами.

Высевающий аппарат должен дозировать семена, пробивать пленку с требуемым шагом, формируя при этом семенное ложе и укладывать семена в почву. При этом не должно происходить забивание высевающих рабочих органов почвой или пленкой.

Заделывающие семена полые стержни или стаканчики высевающих колес перемещаются в горизонтальной плоскости на расстояние от 65,69 до 115,86 мм (при глубине заделки семян от 40 до 120 мм), что ограничивает расстояние между семенами в ряду.

Необходимо разработать теоретические зависимости, описывающие движение роторов с учетом сопротивления почвы перемещению в ней заделывающих стержней или стаканчиков, силы трения высевающего колеса по поверхности пленки и деформации поверхности почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ машин для посева пропашных культур под мульчирующую пленку / В. И. Коцуба, К. Л. Пузевич, В. В. Пузевич, В. М. Кузюр // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ. – Брянск: Издательство Брянский ГАУ, 2020. – № 1(19) – С. 107–113.

2. Способы мульчирования грунта [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <http://vladam-seeds.com.ua/ru/agronomiya/sposoby-mulchirovaniya-grunta>. – Дата доступа: 18.01.2020.

3. SAMCO 41HD [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.samco.ie/machinery/40-hd-2/>. – Дата доступа: 18.01.2020.

4. Bed maker/mulching film layer AL-S14 PLUS [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.checchiemagli.com/en/machines/bed-maker-mulching-film-layer-al-s14-plus/>. – Дата доступа: 18.01.2020.

5. Punch film layer [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.samco.ie/machinery/punch-film-layer/>. – Дата доступа: 18.01.2020.

6. SMP pneumatic seed drill [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.spapperi.com/en/product/smp-en/>. – Дата доступа: 18.01.2021.

7. Канарев, Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф. М. Канарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.

8. Desmos. Графический калькулятор [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.desmos.com/calculator/>. – Дата доступа: 20.02.2021.