

4. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
5. Bosch. Dusen und dusenhalter. Technische Beschreibung. – 1995.
6. Кухаренок, Г.М. Рабочий процесс высокооборотных дизелей. Методы и средства совершенствования / Г.М. Кухаренок. – Минск: БГПА, 1999. – 180 с.
7. Bosch. Автомобильный справочник / пер. с англ. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2000. – 896 с.
8. Тер-Мкртчян, Г.Г. Современное состояние и перспективы развития топливной аппаратуры автотракторных дизелей / Г.Г. Тер-Мкртчян, М.В. Мазинг // Двигателестроение. – 2014. – № 1. – С. 30–35.

УДК 631.314

**Н.Д. Лепешкин,
В.П. Чеботарев, Н.С. Козлов**
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»),
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЕРОЯТНОСТИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ
СПИРАЛЬНО-НОЖЕВИДНЫМ КАТКОМ**

Введение

Анализ исследований [1] показал, что в сельскохозяйственном производстве существует значительная проблема послеуборочного измельчения растительных остатков почвообрабатывающими агрегатами. В настоящее время в Республике Беларусь применяются почвообрабатывающие агрегаты, которые не обеспечивают качественного измельчения стеблей на отрезки до 15 см. Для решения этой проблемы все чаще в качестве рабочих органов применяются ножевидные катки, представляющие собой цилиндр, по периметру которого установлены ножи. Их достоинствами в сравнении с другими типами рабочих органов являются: более высокая производительность, обеспечиваемая за счет существенного повышения рабочих скоростей и ширины захвата, простая и компактная конструкция, а также низкое тяговое сопротивление при работе на различных агрофонах.

Однако после уборки сельскохозяйственных культур остаются не только скошенные, но и лежащие хаотично на поверхности поля растительные остатки. Поэтому возникает задача установки рационального количества ножей на катке, для того чтобы обеспечить наибольшую вероятность попадания лезвия ножа на растительные остатки для последующего их перерезания. Теоретически рассмотрим простое одноразовое перерезание остатков стеблей, а затем перерезание до агротехнической длины 0,15 м несколькими ножами (не менее 2).

Основная часть

Поскольку растительные остатки разбросаны на поверхности поля случайным образом, то попадание лезвия на обрабатываемый материал носит вероятностный характер. Для того чтобы определить вероятность измельчения ножами спирально-ножевидного катка растительных остатков, воспользуемся теорией вероятностей, а именно классической «задачей Бюффона» об игле [2].

Представим, что расчерченные параллельные прямые nn' и mm' обозначают развертку спирально-ножевидного катка, а брошенная игла между двумя параллельными прямыми – растительный остаток (рисунок 1).

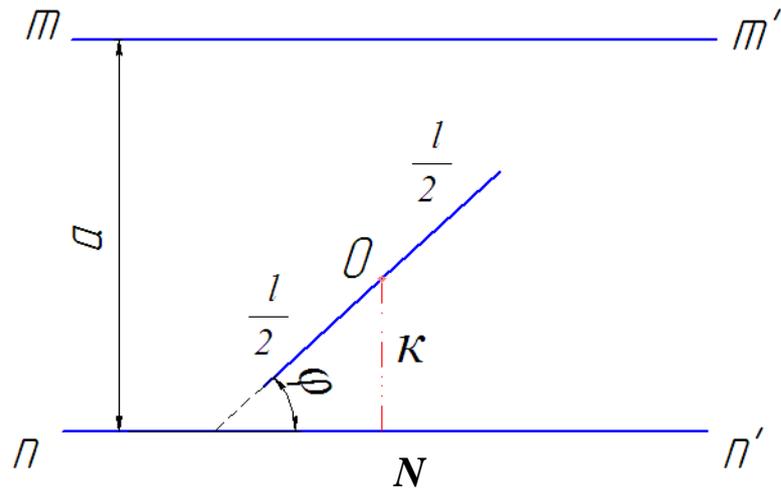


Рисунок 1. – Схема расположения растительных остатков относительно ножей катка

Согласно «задаче Бюффона», нас интересует только расстояние середины растительного остатка до ближайшего ножа, а также под каким углом он к нему наклонен. Шаг между ножами катка равен a . Предположим, что растительный остаток длиной l будет перерезаться одним ножом, и расположен он ближе к прямой nm' под углом φ (рисунок 1). Тогда должно соблюдаться условие $l < a$.

Так как под вероятностью события понимается отношение числа благоприятных для этого события исходов к числу всех возможных исходов, то попадание растительных остатков на ножи катка является благоприятным исходом события, при котором происходит перерезание растительных остатков, а сумма возможных попаданий и возможных непопаданий растительных остатков на ножи является всеми возможными исходами события.

Из точки O , середины растительного остатка, опускаем перпендикуляр в точку N на ближайшую прямую nm' , расстояние между которыми обозначим k . Отрезок k будет принимать значения от 0 до $\frac{a}{2}$, а угол φ – от 0 до π .

Чтобы определить число всех возможных исходов попадания растительных остатков между ножами, принимаем расстояние k и угол φ за координаты точки – $k \in [0; \frac{a}{2}]$, $\varphi \in [0; \pi]$. Тогда эта точка будет лежать в прямоугольнике $OABC$ (рисунок 2) со сторонами $OA = \frac{a}{2}$ и $OC = \pi$.

Если единице площади соответствует одинаковое число всех возможных исходов события, то число этих событий определяется площадью прямоугольника $OABC$:

$$S_{OABC} = OA \cdot OC = \frac{a}{2} \cdot \pi = \frac{a\pi}{2}.$$

Для того чтобы растительные остатки попадали на ножи спирально-ножевидного катка, необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$k \leq \frac{l}{2} \sin \varphi,$$

при угле φ , принимающем значение от 0 до π .

Площадь сегмента $S_{сег}$, которая определяет вероятность перерезания растительных остатков ножами катка, будет ограничена осью координат $O\epsilon$ и графиком кривой $k \leq \frac{l}{2} \sin \varphi$ при угле φ от 0 до π (рисунок 2).

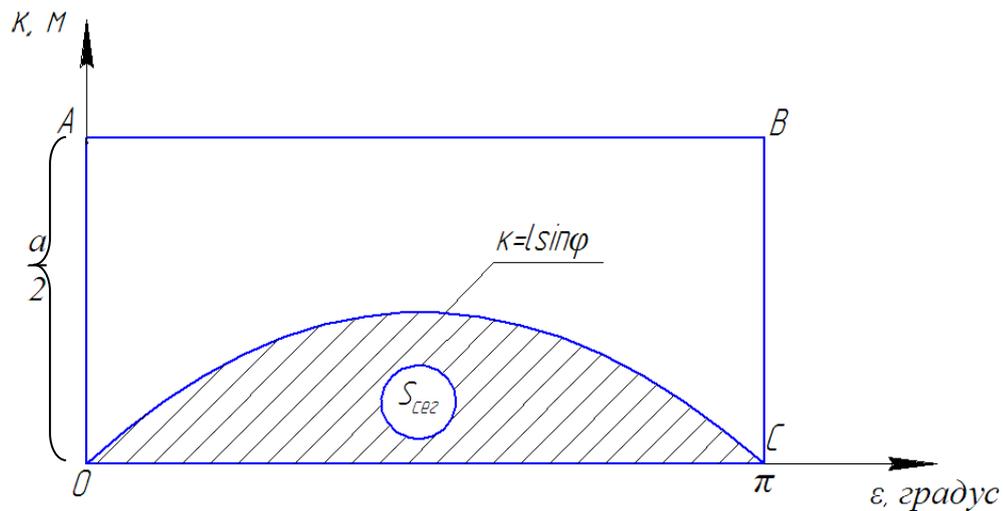


Рисунок 2. – Схема прямоугольника $OABC$ и сегмента $S_{сез}$, определяющих вероятность попадания ножа на растительный остаток

Тогда площадь $S_{сез}$ определим по формуле:

$$S_{сез} = \int_0^{\pi} \frac{l}{2} \sin \varphi d\varphi = \frac{l}{2} (-\cos \pi + \cos 0) = l.$$

Искомая вероятность перерезания растительных остатков спирально-ножевидным катком будет равна отношению площади сегмента $S_{сез}$ к площади прямоугольника S_{OABC} :

$$P = \frac{S_{сез}}{S_{OABC}} = \frac{l}{\frac{a\pi}{2}} = \frac{2l}{a\pi}. \quad (1)$$

Однако полученная формула (1) характеризует вероятность перерезания стеблей, которые имеют длину меньше расстояния между ножами ($l < a$). Вследствие влияния большого количества случайных факторов длина растительных остатков, как и их расположение на поверхности поля, носит случайный характер. Поэтому рассмотрим решение данной задачи с учетом того, что перерезание растительных остатков происходит несколькими ножами, а растительные остатки имеют разную длину и лежат под разными углами (рисунок 3).

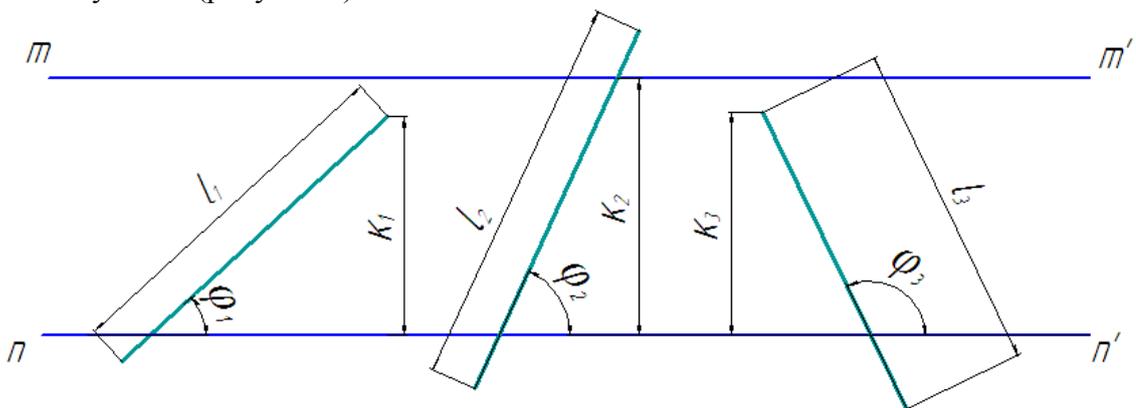


Рисунок 3. – Схема расположения остатков стеблей относительно ножей катка

Тогда для перерезания остатка стебля длиной l хотя бы одним ножом необходимо и достаточно, чтобы соблюдалось условие:

$$\kappa = l \sin \varphi. \quad (2)$$

При произвольной длине l остатка стебля различные положения его, соответствующие условию (2), определяются точками на заштрихованных областях S_1 , S_2 или S_3 рисунка 4. Тогда вероятность перерезания стебля равна отношению:

$$P = \frac{S_{\text{сум}}}{S_{\text{общ}}},$$

где $S_{\text{сум}}$ – общая площадь заштрихованных областей, м^2 ;
 $S_{\text{общ}}$ – площадь прямоугольника со сторонами a и π , м^2 .
 Площадь $S_{\text{сум}}$ будет равна (согласно рисунку 4):

$$S_{\text{сум}} = S_1 + S_2 + S_3.$$

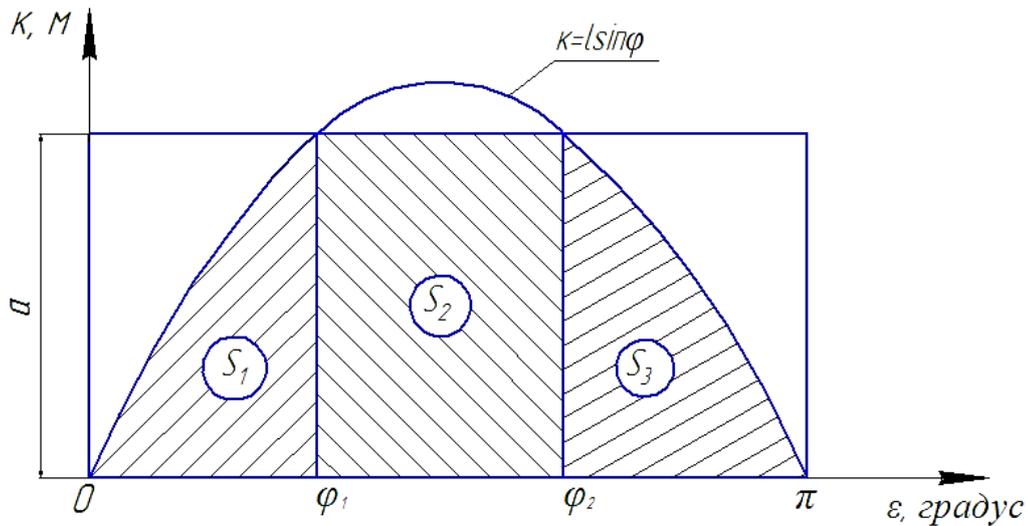


Рисунок 4. – Схема для определения вероятности перерезания остатка стебля одним или двумя ножами катка, установленными с шагом a

Площадь S_1 будет равна:

$$S_1 = \int_0^{\varphi_1} l \sin \varphi d\varphi = -l \cos \varphi_1 + l \cos 0 = l(1 - \cos \varphi_1).$$

Угол $\varphi_1 = \arcsin \frac{a}{l}$. Тогда

$$S_1 = l(1 - \cos \arcsin \frac{a}{l}).$$

Так как $\cos \arcsin \frac{a}{l} = \sqrt{1 - (\frac{a}{l})^2}$, то

$$S_1 = l \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2} \right).$$

Площадь S_2 будет равна:

$$S_2 = a \left(\pi - 2 \arcsin \frac{a}{l} \right) = 2a \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1 \right) = 2a \arccos \frac{a}{l}.$$

Так как $S_1 = S_3$, тогда площадь $S_{\text{сум}}$ будет равна:

$$S_{\text{сум}} = 2l \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2} \right) + 2a \arccos \frac{a}{l} = 2l \left(\frac{a}{l} \arccos \frac{a}{l} + 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l}\right)^2} \right).$$

Таким образом, вероятность перерезания стебля длиной l хотя бы один раз будет равна:

$$P = \frac{2l}{\pi a} \left(\frac{a}{l} \arccos \frac{a}{l} + 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{l} \right)^2} \right) = \frac{2l}{\pi a} \left(\frac{a}{l} \arccos \frac{a}{l} + 1 - \frac{1}{l} \sqrt{l^2 - a^2} \right). \quad (3)$$

Анализ полученного уравнения (3) позволил установить, что расстояние между ножами не может быть больше длины отрезков растительных остатков, на которые необходимо измельчить стебли, то есть $l \geq a$. При длине остатка стебля, равной шагу между ножами $l = a$, вероятность перерезания

$$P = \frac{2}{\pi}.$$

Исследования показывают [3], что частицы длиной более 0,15 м не только плохо заделываются, но и медленно минерализуются в почве, ухудшают ее водный и пищевой режимы, а также способствуют забиванию рабочих органов. Поэтому, принимая длину отрезков растительных остатков l равной 0,15 м, определим вероятность перерезания стеблей ножами катка в зависимости от шага их расстановки при условии, что $l \geq a$. Тогда формула (3) будет иметь вид:

$$P = \frac{0,3}{\pi a} \left(6,67a \arccos 6,67a + 1 - 6,67 \sqrt{0,0225 - a^2} \right). \quad (4)$$

На рисунке 5 представлена зависимость вероятности перерезания растительных остатков P от шага расстановки ножей a на спирально-ножевидном катке, построенная на основании формулы (4).

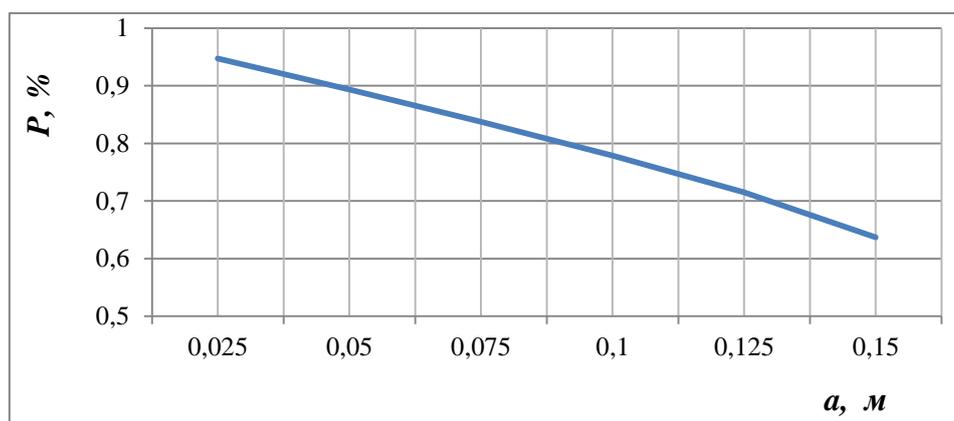


Рисунок 5. – Зависимость вероятности измельчения растительных остатков от шага расстановки ножей спирально-ножевидного катка

Анализ представленной зависимости показывает, что с увеличением шага расстановки ножей с 0,025 м до 0,15 м вероятность перерезания растительных остатков до длины не более 0,15 м уменьшается с 94,7 % до 63,7 %.

Заключение

Анализ проблемы измельчения растительных остатков в процессе почвообработки показал, что из-за большого разнообразия длины остатков и расположения относительно поверхности поля оно имеет вероятностный характер.

Проведенное теоретическое исследование вероятности измельчения растительных остатков спирально-ножевидным катком позволило определить вероятность измельчения растительных остатков в зависимости от их длины и шага расстановки ножей на катке. Также согласно полученной формуле был построен график зависимости вероятности измельчения растительных остатков от шага расстановки ножей спирально-ножевидного катка.

Анализ построенного графика зависимости показал, что при увеличении расстояния между ножами снижается вероятность измельчения растительных остатков спирально-ножевидным катком, причем максимальная вероятность, при которой происходит измельчение стеблей на отрезки до 15 см, будет равна 63,7 %.

24.06.2016

Литература

1. Козлов, Н.С. Анализ почвообрабатывающих машин для послеуборочного измельчения высокостебельных культур / Н.С. Козлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 160–165.
2. Кендалл, М. Геометрические вероятности / М. Кендалл, П. Моран – М.: Наука, 1972. – 101 с.
3. Спиринов, А.П. Мульчирующая обработка почвы / А.П. Спиринов – М.: ВИМ, 2001. – 135 с.

УДК 631.314

**Н.Д. Лепешкин, В.П. Чеботарев,
Н.С. Козлов**
(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СПИРАЛЬНО- НОЖЕВИДНОГО КАТКА ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Введение

Анализ исследований процесса послеуборочного измельчения растительных остатков высокостебельных культур [1] показал, что для этой цели наиболее эффективно применение спирально-ножевидных катков. Их достоинствами по сравнению с другими типами рабочих органов являются более высокая производительность, обеспечиваемая за счет существенного повышения рабочих скоростей и ширины захвата, простая и компактная конструкция, а также низкое тяговое сопротивление при работе на различных агрофонах.

Одним из значимых параметров спирально-ножевидных катков является рабочая скорость движения, от которой зависит сила перерезания растительных остатков.

Основная часть

Движение катка можно рассматривать по аналогии с движением колеса. Как отмечают в своих исследованиях В.А. Новичихин [2] и В.П. Мармалюков [3], которые исследовали процесс взаимодействия катка с почвой, движение катка представляет собой движение ведомого колеса с цилиндрическим ободом и горизонтальной осью вращения. Рассмотрим движение точки A , расположенной на конце ножа катящегося спирально-ножевидного катка (рисунок 1).

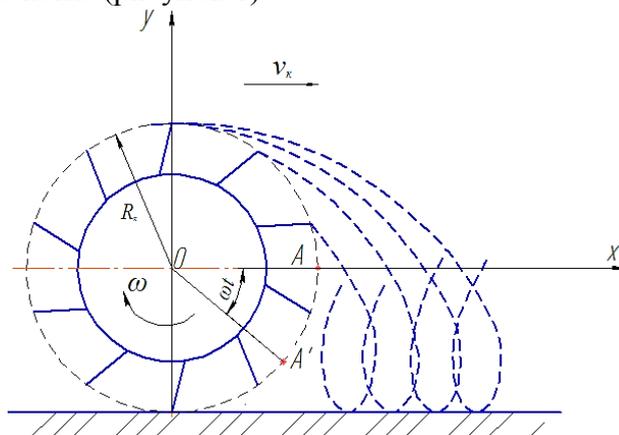


Рисунок 1. – Траектории движения точки A лезвий ножей спирально-ножевидного катка