

УДК 631.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕАКЦИИ ПОЧВЫ НА КОЛЬЦО КАТКА ГРЕБНЕВОЙ СЕЯЛКИ

*В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор,
тел. 8(8422) 55-95-95, vik@ugsha.ru;*

*Е.С. Зыкин, доктор технических наук, профессор,
тел.: 8(8422) 55-95-95, evg-zykin@yandex.ru;*

*С.А. Лазуткина, кандидат технических наук, доцент,
тел. 8(8422) 55-95-95, lazutksvetlana@yandex.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ*

*О.А. Дмитриев, старший преподаватель,
тел. 8(927) 813-43-53, doa74@mail.ru*

Технологический институт-филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: технология, посев, сеялка, гребень почвы, каток, культивация.

Разработана гребневая сеялка, оснащенная катками, применение которой позволяет за один проход выполнить предпосевную культивацию, высев семян, образовать над строчками высеянных семян бугорок почвы, уплотнить его с трех сторон и окончательно сформировать гребень почвы требуемых размеров и плотности в нем. Выявлено, что реакция почвы от действия на нее прикатывающих колец катка зависит от физико-механических свойств почвы и от размеров колец катка.

Введение. Проанализировав популярные методы предпосевной подготовки поверхности поля и гребневого посева пропашных культур [1, 2, 3, 4], возможно заключить, что гребни почвы над высеянными в почву семенами выполняют различными типами рабочих органов сельскохозяйственных машин, в частности, прикатывающими кольцами и круглыми дисками катков. Но цель высококачественного образования гребней почвы подобными рабочими органами решена не полностью. По этой причине, необходимо аргументировать требуемые характеристики гребневый сеялки, оборудованной новыми катками.

Объекты и методы исследований. Для практической реализации гребневого посева пропашных культур разработана гребневая сеялка [5, 6], на каждой секции которой смонтировали лапу-сошник, два рабочих органа с плоскими дисками и каток (рисунок 1). Рабочие органы установили на грядилях в шахматном порядке таким образом, чтобы плоские диски под острым углом были направлены в сторону направ-

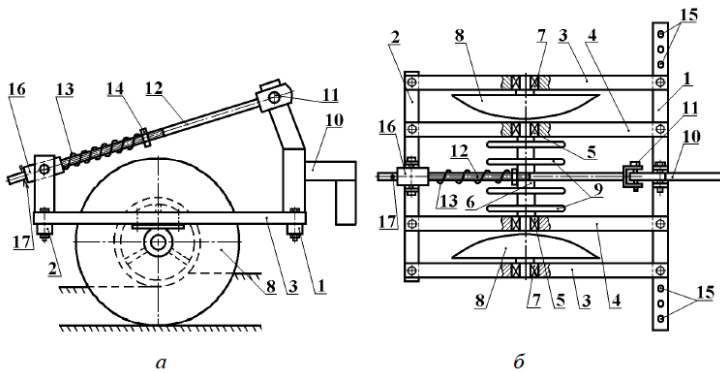


Рисунок 1 – Каток: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1, 2 – балки поперечные; 3, 4 – балки продольные; 5, 7 – подшипники; 6 – ось; 8 – сферические диски; 9 – прикатывающие кольца; 10 – кронштейн; 11 – палец; 12 – штанга; 13 – пружина; 14 – гайка; 15 – регулировочные отверстия; 16 – муфта; 17 – шплинт

ления перемещения гребневой сеялки.

При перемещении катка по засеянному рядку, на который предварительно рабочие органы с плоскими дисками сдвинули рыхлую почву и образовали почвенный бугорок, сферические диски 8, установленные выпуклой стороной в сторону продольной оси симметрии катка, уплотняют бугорок с боковых сторон. Прикатывающие кольца 9, которые свободно вращаются на оси 6, при помощи давления пружины 13 уплотняют верхнюю часть бугорка почвы и окончательно формируют гребень почвы над семенами высотой 6...8 см.

Результаты исследований. Прикатывающее кольцо катка сеялки – это обод полукруглого (сферического) профиля. Обозначим радиус кольца – r_k , радиус поперечного сечения сферы кольца – $r_{ск}$.

Верхний слой почвы, при относительно небольших величинах смятия (до 0,03...0,04 м), возможно рассматривать как линейно деформируемую, а зависимость между деформацией почвы и нагрузкой на каток определить по формуле [7]:

$$\sigma = q h_{см}, \quad (1)$$

где σ – напряжение смятия почвы, Н/м²; q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³;

Кольцо перекачивается по верхней части бугорка, применяя почву на величину $h_{\text{см}}$ и подвергая ее деформации сжатия (рисунок 2).

Пересечение вертикального диаметра кольца с поверхностью поля примем (начало координат) примем в т. O_1 . Далее выделим сегмент с элементарными сторонами dx , dy и dl_k , который с точностью до малых величин высшего порядка возможно считать треугольником. На сферическом ободе кольца при ширине его контакта с поверхностью почвы b_k , обозначим элементарную поверхность dS_k :

$$dS_k = b_k dl_k, \quad (2)$$

где b_k – ширина кольца, м.

Элементарная сила реакции почвы на эту поверхность выразится следующим образом:

$$dR_{\Pi_1} = \sigma b_k dl_k. \quad (3)$$

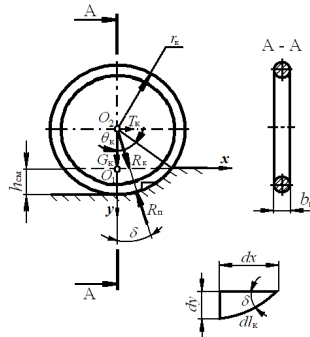


Рисунок 2 – Перемещение кольца катка по поверхности почвы

Учитывая, что углы имеют взаимно перпендикулярные стороны, следовательно, угол между направлениями сторон dx и dl_k равен углу δ приложения реакции почвы R_{n1} .

Тогда

$$dl_k = \frac{dy}{\sin \delta}. \quad (4)$$

Кроме того, $dy = dh_{\text{см}}$, следовательно, формулу (1) перепишем сле-

дующим образом:

$$\sigma = qy. \quad (5)$$

Подставляя формулы (4) и (5) в формулу (3), получим:

$$dR_{\Pi_1} = \frac{b_k q y dy}{\sin \delta}. \quad (6)$$

Проинтегрировав формулу (6), получим:

$$R_{\Pi_1} = \frac{b_k q}{\sin \delta} \int_0^{h_{\text{см}}} y dy = \frac{b_k q h_{\text{см}}^2}{2 \sin \delta}. \quad (7)$$

На реакцию почвы значительное влияние оказывает и диаметр кольца d_k . Чтобы учесть этот параметр, величину dl_k выразим через dx :

$$dl_k = \frac{dx}{\cos \delta}. \quad (8)$$

Подставляя формулу (8) в формулу (6) и, предварительно изменив пределы интегрирования, найдем:

$$R_{\Pi_1} = \frac{b_k q}{\cos \delta} \int_0^x y dx. \quad (9)$$

Для интегрирования правой части формулы (9) требуется переменную y выразить через x . Затем определяем верхний предел интегрирования по x (рисунок 3).

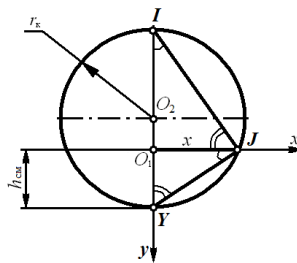


Рисунок 3 – К определению верхнего предела интегрирования

Из рисунка 3 следует, что треугольник IO_1J подобен треугольнику YO_1J . Тогда $O_1J / O_1I = O_1Y / O_1J$, или $(O_1J)^2 = O_1I \cdot O_1Y$. В этом случае $O_1J = x$,

$$O_1 I = d_k - h_{cm}, \text{ а } O_1 Y = h_{cm}.$$

Из представленных вычислений следует, что: $x^2 = (d_k - h_{cm}) h_{cm}$. Учитывая, что размер диаметра кольца d_k больше глубины смятия почвы h_{cm} ($d_k \gg h_{cm}$), то величиной h_{cm}^2 можно пренебречь. Выполняя необходи-

мые вычисления, получим, что величина $x = \sqrt{d_k h_{cm}}$. Таким образом, нижний предел интегрирования по x будет равен нулю, а верхний – $\sqrt{d_k h_{cm}}$.

Для замены переменной y через переменную x воспользуемся рисунком 4.

Из рисунка 4 следует, что треугольник IXJ подобен треугольнику YXJ . Тогда, $XJ / IX = YX / XJ$ или $(XJ)^2 = IX \cdot YX$.

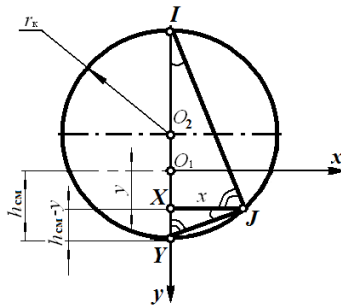


Рисунок 4 – К определению величины y

Из рисунка 4 также следует, что $XJ = x$; $IX = d_k - (h_{cm} - y)$; $YX = h_{cm} - y$. Тогда $x^2 = [d_k - (h_{cm} - y)] \cdot (h_{cm} - y)$. Так как $d_k \gg h_{cm} - y$, то выражением $(h_{cm} - y)^2$ можно пренебречь. Выполняя необходимые математические вычисления, получим, что $x^2 = d_k (h_{cm} - y)$, или $y = [h_{cm} - (x^2/d_k)]$.

Подставляя полученные значения y и x в выражение (9), получим:

$$R_{II} = \frac{b_k q}{\cos \delta} \int_0^{\sqrt{d_k h_{cm}}} \left(h_{cm} - \frac{x^2}{d_k} \right) dx = \frac{2 b_k q h_{cm} \sqrt{d_k h_{cm}}}{3 \cos \delta} = \frac{2 b_k q h_{cm}^{1.5} \sqrt{d_k}}{3 \cos \delta}. \quad (10)$$

Формула (10) будет справедлива для реакции почвы R_n на обод кольца с цилиндрической поверхностью. Для вычисления силы R_n , ко-

торая действует на всю поверхность кольца, контактирующую с почвой (по дуге DEK) (рисунок 5), необходимо разбить дугу DEK на бесконечно большое количество цилиндрических дисков с шириной контакта $db_{к1}$, на каждый из которых этих дисков будет действовать элементарная нормальная реакция $N_{к}$, направленная к центру O_3 сечения кольца, а также сила трения $F_{тр}$.

Реакция почвы

$$R_{II} = N_{к} \cdot \operatorname{tg} \varphi + N_{к} = N_{к} (\operatorname{tg} \varphi + 1). \quad (11)$$

Из рисунка 5 следует, что

$$\frac{F_{тр}}{N_{к}} = \operatorname{tg} \varphi = f_{к}, \quad (12)$$

где φ – угол трения кольца о почву, град.; $f_{к}$ – коэффициент трения почвы о кольцо.

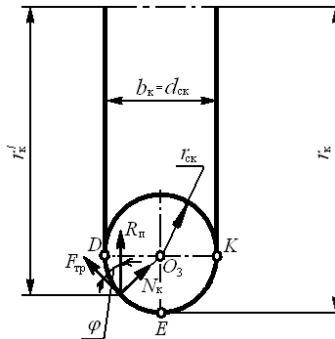


Рисунок 5 – Силы, действующие на кольцо катка

В нашем случае требуется ввести допущение, что $h_{см} = r_{ск}$, из-за того, что давление на поверхность почвы кольцо оказывает на площади контакта дуги DEK . В этом случае $b_{к} = 2r_{ск} = d_{ск}$.

Тогда элементарная реакция, которая действует на каждый элемент $db_{к1}$ кольца с учетом выражений (10) и (11), выразится следующим образом:

$$dR_{II} = \frac{2q \sqrt{2r_{к}' (h_{см}')^{1.5}}}{3 \cos \delta} db_{к1}, \quad (13)$$

где r'_k – переменный радиус кольца, к которому приложена реакция почвы, м; h'_{cm} – переменная величина смятия почвы, м.

Из рисунка 6 следует, что переменные радиус приложения реакции и величина смятия почвы соответственно

$$r'_k = r_k - r_{ck} + \frac{b_{k1}}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (14)$$

$$h'_{cm} = \frac{b_{k1}}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (15)$$

Подставляя формулы (14) и (15) в формулу (13), а также заменив переменные величины и выполнив необходимые математические преобразования, получим:

$$dR_{II} = \frac{2\sqrt{2} q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{3 \cos \delta} \sqrt{r_k - r_{ck} + \frac{b_{k1}}{\operatorname{tg} \varphi}} \left(\frac{b_{k1}}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^{1.5} db_{k1}. \quad (16)$$

Проинтегрировав формулу (16) получим:

$$R_{II} = \frac{2\sqrt{2} q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{3 \cos \delta} \int_0^{b_k} \sqrt{r_k - r_{ck} + \frac{b_{k1}}{\operatorname{tg} \varphi}} \left(\frac{b_{k1}}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^{1.5} db_{k1}, \quad (17)$$

$$R_{II} = \frac{0,94 q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{\cos \delta \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi} \int_0^{b_k} \sqrt{(r_k - r_{ck}) \operatorname{tg} \varphi + b_{k1}} (b_{k1})^{1.5} db_{k1}. \quad (18)$$

Для упрощения математических расчетов выполним замену переменных:

$$\frac{0,94 q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{\cos \delta \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi} = c, \quad (r_k - r_{ck}) \operatorname{tg} \varphi = u.$$

В этом случае

$$R_{II} = c \int_0^{b_k} \sqrt{u + b_{k1}} \cdot b_{k1}^{1.5} db_{k1}. \quad (19)$$

Вычислив интеграл в формуле (19), а также выполнив необходимые математические вычисления, учитывая, что ширина $b_k = d_{ck}$, окончательно можем записать:

$$R_{II} = c [0,125 u^3 \ln (\sqrt{u + d_{ck}} + \sqrt{d_{ck}}) - 0,0625 u^3 \ln u - 0,042 \sqrt{d_{ck}} \cdot \sqrt{u + d_{ck}} (3u^2 - 2u d_{ck} - 8d_{ck}^2)]. \quad (20)$$

Заключение. На основе приведенных выше расчетов можем заключить, что при уплотнении почвы в сформированном бугорке и ее смятии на требуемую глубину, реакция почвы от воздействия на нее колец катка зависит от их размеров, а также физико-механических свойств почвы.

Библиографический список:

1. Курдюмов, В.И. Определение плотности почвы после прохода катка-гребнеобразователя / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. - № 4. – С. 27-29.
2. Курдюмов, В.И. Оптимизация параметров катка-гребнеобразователя / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. - № 1. – С. 15-16.
3. Пат. 2443094 Российская Федерация, МПК А01В79/02, А01Г1/00. Способ возделывания пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2010141211/13; заявл. 07.10.2010; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6.
4. Пат. 2265305 Российская Федерация, МПК А01С7/00. Способ посева пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2004109411/12; заявл. 29.03.2004; опубл. 10.12.2005, Бюл. № 34.
5. Пат. 2435353 Российская Федерация, МПК А01С7/00, А01В49/06. Гребневая сеялка / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2010129256/13; заявл. 14.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.
6. Пат. 2435352 Российская Федерация, МПК А01С7/00, А01В49/06. Гребневая сеялка / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2010129255/13; заявл. 14.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.
7. Курдюмов В.И. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин. – Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. – 320 с.

MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE REACTION OF THE SOIL ON THE RING OF THE RINK RAISED BED PLANTER

Kurdyumov V.I., Zykin E.S., Lazutkina S.A., Dmitriev O.A.

Key words: *technology, sowing, seeder, soil crest, skating rink, cultivation.*

A comb seeder equipped with rollers is developed, the use of which allows for one pass to perform pre-sowing cultivation, sowing seeds, to form a hillock of soil over the lines of the sown seeds, to compact it from three sides and finally form the crest of the soil of the required size and density in it. It is revealed that the reaction of the soil from the action of the rolling rings of the rink depends on the physical and mechanical properties of the soil and the size of the rings of the rink.