

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ПОЧВЫ НА ПРИКАТЫВАЮЩЕЕ КОЛЬЦО КАТКА-ГРЕБНЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

Зыкин Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

Курушин Виктор Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел.: 8(8422)55-95-95;

e-mail: evg-zykin@yandex.ru

Ключевые слова: технология, посев, гребневая обработка почвы, культивация, прикатывание

Разработана гребневая сеялка, оснащенная катками-гребнеобразователями, применение которой позволяет с минимальными эксплуатационными затратами 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-гребнеобразователя зависит от физико-механических свойств почвы и от размеров прикатывающих колец.

Введение

Традиционные технологии возделывания пропашных культур на ровной поверхности поля были и остаются самыми распространенными. Однако исследованиями установлено, что наиболее перспективной для пропашных культур является гребневая технология [1, 2, 3, 4], позволяющая создать благоприятные температурные, водные и воздушные условия для быстрого и дружного прорастания семян. При высева семян в одни и те же сроки на гребнях культурные растения развиваются лучше, чем на ровной поверхности. Корневая система растений в гребнях почвы не выходит в бороздки-междурядья, поэтому при междурядных обработках, по сравнению с обработкой обычных посевов, рыхлить почву можно глубже, что способствует ее сохранению в рыхлом состоянии и предохраняет почвенную влагу от испарения.

Проанализировав известные способы предпосевной подготовки поля и гребневого посева пропашных культур, можно заключить, что гребни почвы при посеве формируют различными средствами механизации с активными и пассивными рабочими органами, в частности, прикатывающими кольцами и сферическими дисками катков-гребнеобразователей. Однако задача качественного формирования гребней почвы такими рабочими органами решена недостаточно, поэтому необходимо обосновать оптимальные параметры гребневой сеялки, оснащенной катками-гребнеобразователями.

Для реализации гребневого способа посева пропашных культур разработана гребневая сеялка [6, 7, 8, 9, 10] (рис. 1), которая одновременно рыхлит почву, уничтожает сорные растения, образует уплотненное ложе, высевает семена и образует над ними бугорок почвы, формирует гребень почвы требуемых размеров и плотности почвы в нем. На каждой посевной секции гребневой сеялки установлены лапа-сошник, два рабочих органа с плоскими дисками и каток-гребнеобразователь.

Объекты и методы исследований

Для реализации гребневого способа посева пропашных культур разработана гребневая сеялка [6, 7, 8, 9, 10] (рис. 1), которая одновременно рыхлит почву, уничтожает сорные растения, образует уплотненное ложе, высевает семена и образует над ними бугорок почвы, формирует гребень почвы требуемых размеров и плотности почвы в нем. На каждой посевной секции гребневой сеялки установлены лапа-сошник, два рабочих органа с плоскими дисками и каток-гребнеобразователь.

Бугорок почвы над высеянными семенами формируют рабочие органы с плоскими дисками. Рабочие органы устанавливаются

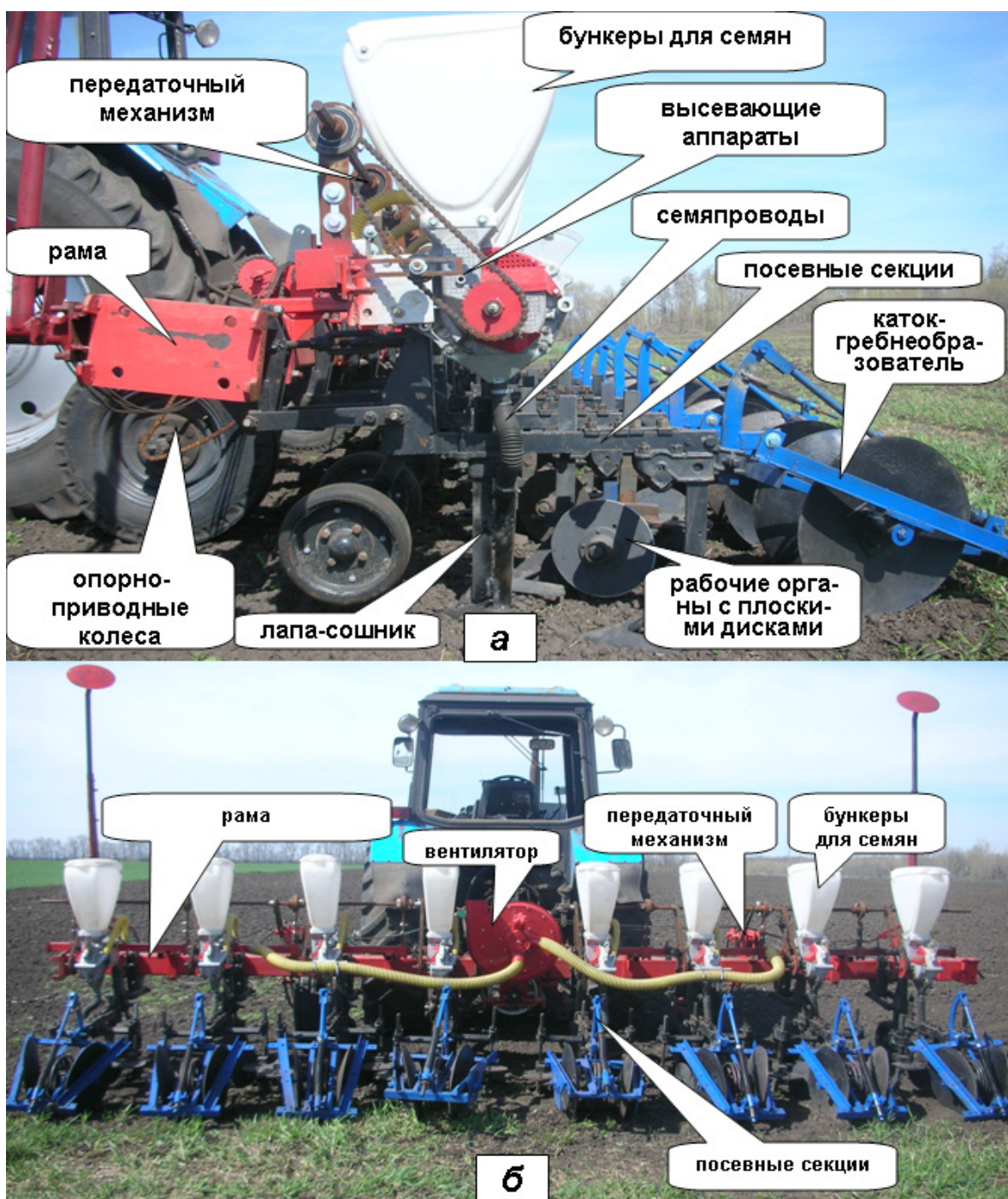


Рис. 1 – Гребневая сеялка: а – вид сбоку; б – вид сзади

таким образом, чтобы плоские диски под острым углом были направлены в сторону движения секции.

Каток-гребнеобразователь (рис. 2) содержит раму, состоящую из поперечных 1 и 2 и продольных 3 и 4 балок. На продольных балках 4 в подшипниках 5 установлена ось 6. На продольных балках 3 в подшипниках 7 установлены выпуклостью к оси симметрии сферические диски 8. На оси 6 между сфе-

рическими дисками 8 расположены прикатывающие кольца 9, свободно вращающиеся на оси 6.

Каток-гребнеобразователь содержит также кронштейн 10, жестко закрепленный на поперечной балке 1, посредством которого каток агрегатируют с сеялкой-культиватором. К кронштейну 7 шарнирно при помощи пальца 11 присоединена штанга 12. На штанге 12 установлена пружина 13. Усилие

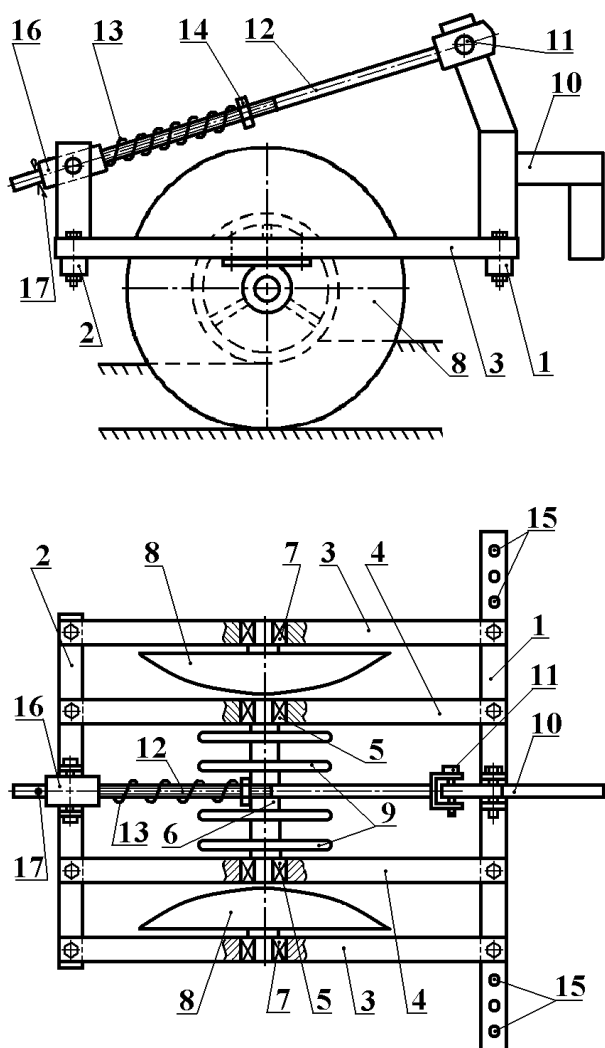


Рис. 2 – Каток-гребнеобразователь:

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 – отверстия; 16 – муфта; 17 – шплинт

сжатия пружины регулируют перемещением гайки 14 по резьбе штанги 12. В балке 1 выполнены отверстия 15, позволяющие регулировать угол атаки сферических дисков 8 от 0 до 30°. Для фиксации штанги 12 во время работы или при транспортировке катка на наружном конце муфты 16 установлен шплинт 17.

При движении катка-гребнеобразователя по ряду, на который предварительно с междурядий сдвинут для заделки семян рыхлый слой почвы и образован почвенный бугорок, сферические диски 8, установлен-

ные выпуклой стороной к оси симметрии катка уплотняют бугорок почвы с боков. При этом прикатывающие кольца 9, свободно вращающиеся на оси 6, за счет давления пружины 13 уплотняют вершину бугорка почвы и окончательно формируют гребень почвы высотой 6...8 см.

За счет давления колец 9 на почву при их вращении и действия сферических дисков 8 почвенные комочки измельчаются, и на поверхности ряда образуется рыхлый мульчированный слой почвы, уменьшающий испарение почвенной влаги.

Результаты исследований

Кольцо катка-гребнеобразователя представляет собой обод со сферическим профилем. Обозначим радиус кольца – r_k , радиус поперечного сечения сферы кольца – $r_{ск}$.

Известно, что при движении катка по полю он сминает почву на некоторую величину $h_{см}$, подвергая почву деформации сжатия.

Деформация почв сопровождается изменением их структуры и пористости, перемещением частиц почвы, воды и газа, и представляет собой тип деформаций, свойственный только полудисперсным системам.

Следовательно, можно рассмотреть почвенную среду, при небольших величинах смятия почвы (0,03...0,04 м), как линейно деформируемую, и определить зависимость между деформацией почвы и нагрузкой на каток следующим образом:

$$\sigma = q h_{см}, \quad (1)$$

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

Кольцо катка перекачивается по поверхности поля, сминая почву на величину $h_{см}$ (рис. 3).

Выберем начало координат в точке O_1 пересечения вертикального диаметра кольца катка с поверхностью почвы. Выделим сегмент с элементарными сторонами dx , dy и dl_k , который с точностью до малых величин высшего порядка можно считать треугольником. На сферическом ободе кольца с шириной его контакта с почвой b_k , выделим

элементарную поверхность dS_k , которую выразим следующим образом:

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

где b_k – ширина кольца, м.

Элементарная сила реакции почвы на эту поверхность

$$dR_{II_1} = \sigma b_k dl_k. \quad (3)$$

Угол между сторонами dx и dl_k равен углу δ приложения реакции почвы R_{n1} (так как углы имеют взаимно перпендикулярные стороны).

В этом случае

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

Так как $dy = dh_{cm}$, то выражение (1) можно переписать следующим образом:

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

Подставив выражения (4) и (5) в формулу (3), получим:

$$dR_{II_1} = \frac{b_k q y dy}{\sin \delta}. \quad (6)$$

Проинтегрируем полученное выражение:

$$R_{II_1} = \frac{b_k q}{\sin \delta} \int_0^{h_{cm}} y dy = \frac{b_k q h_{cm}^2}{2 \sin \delta}. \quad (7)$$

Однако на реакцию почвы также оказывает влияние диаметр кольца катка d_k . Для учета этого параметра выразим dl_k через dx :

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

Подставим выражение (8) в формулу (6) и, изменив пределы интегрирования, получим:

$$R_{II_1} = \frac{b_k q}{\cos \delta} \int_0^x y dx. \quad (9)$$

Для того, чтобы проинтегрировать правую часть выражения (9), необходимо переменную y выразить через переменную x , и найти верхний предел интегрирования по x (рис. 4).

Из рис. 4 следует, что треугольник IO_1J подобен треугольнику YO_1J . Следовательно, $O_1J / O_1I = O_1Y / O_1J$, или $(O_1J)^2 = O_1I \cdot O_1Y$. В этом случае $O_1J = x$, $O_1I = d_k - h_{cm}$, а $O_1Y = h_{cm}$.

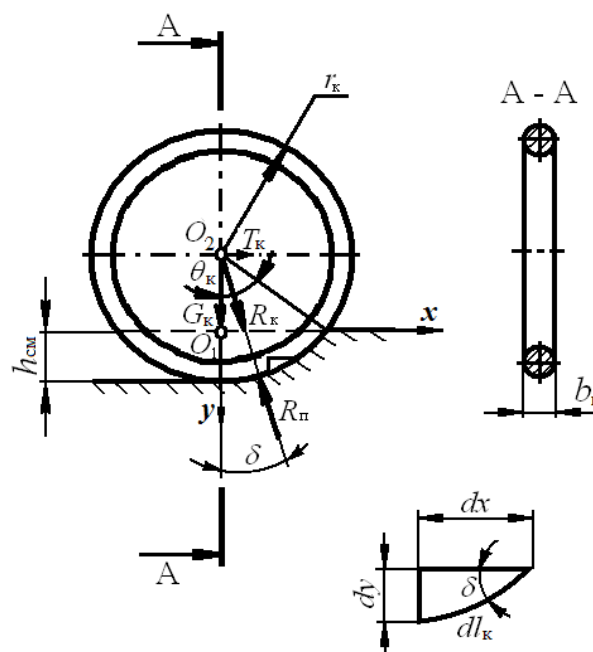


Рис. 3 – Движение кольца катка по поверхности почвы

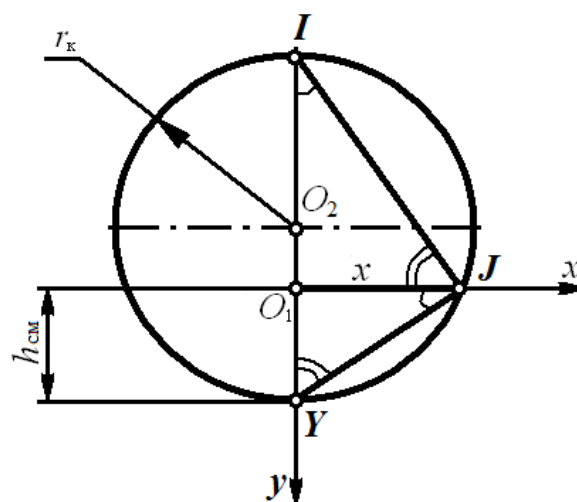


Рис. 4 – К определению верхнего предела интегрирования

Из приведенных расчетов следует, что: $x^2 = (d_k - h_{cm}) h_{cm}$. Так как диаметр кольца катка d_k больше величины смятия почвы h_{cm} ($d_k \gg h_{cm}$), то значением h_{cm}^2 можно пренебречь. Тогда, выполнив соответствующие преобразования, получим $x = \sqrt{d_k h_{cm}}$. Следовательно, нижним пределом интегрирования по x будет 0, а верхним – $\sqrt{d_k h_{cm}}$.

Для замены переменной y через x воспользуемся рис. 5.

Из рис. 5 следует, что треугольник IXI

подобен треугольнику YXJ . Следовательно, $XJ / IX = YX / XJ$ или $(XJ)^2 = IX \cdot YX$.

Из рис. 5 также следует, что $XJ = x$; $IX = d_k - (h_{cm} - y)$; $YX = h_{cm} - y$, следовательно, $x^2 = [d_k - (h_{cm} - y)] \cdot (h_{cm} - y)$. Так как $d_k \gg h_{cm} - y$, то значением $(h_{cm} - y)^2$ можно пренебречь. Выполнив соответствующие преобразования, получим $x^2 = d_k (h_{cm} - y)$, откуда $y = [h_{cm} - (x^2/d_k)]$.

Подставив полученные выражения y и x в формулу (9), получим:

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

$$= \frac{2 b_k q h_{cm} \sqrt{d_k h_{cm}}}{3 \cos \delta} = \frac{2 b_k q h_{cm}^{1.5} \sqrt{d_k}}{3 \cos \delta}.$$

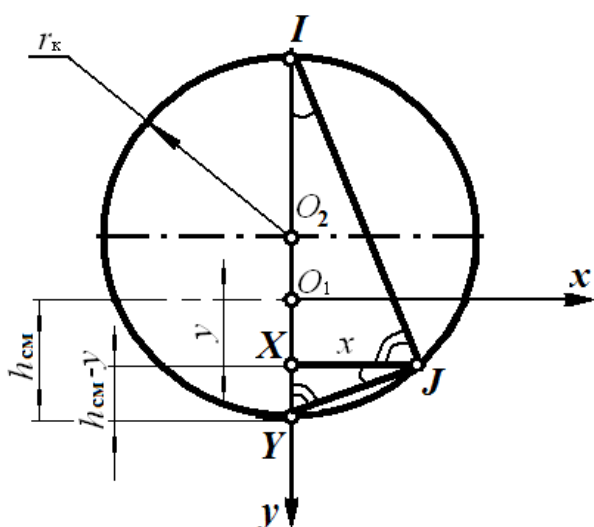


Рис. 5 – К определению величины y

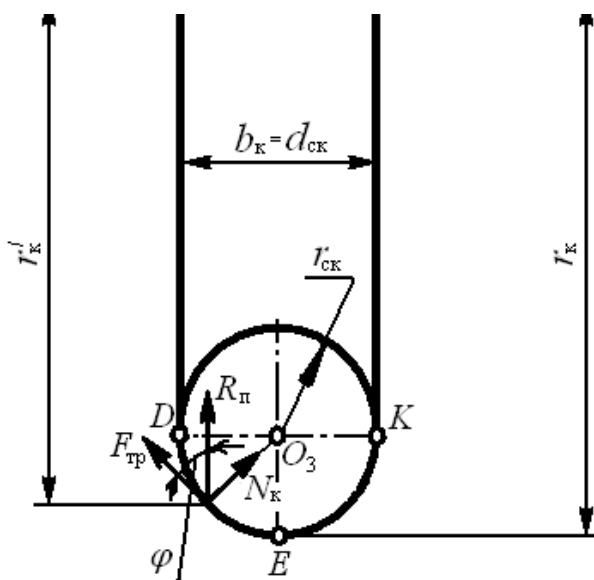


Рис. 6 – Силы, действующие на кольцо катка

Выражение (10) справедливо для реакции почвы R_{II} на ободе гладкого цилиндрического кольца. Для определения силы R_{II} , действующей по всей поверхности контакта кольца катка с почвой (дуге DEK) (рис. 6), разобьем дугу DEK на бесконечно большое число цилиндрических дисков шириной db_{kl} , на каждый из которых действует элементарная нормальная реакция N_k , направленная к центру O_3 сечения кольца, и сила трения $F_{тр}$.

Тогда реакция почвы

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

Из рис. 6 следует, что

$$\frac{F_{тр}}{N_k} = \operatorname{tg} \varphi = f_k, \quad (12)$$

где φ – угол трения кольца катка о почву, град.; f_k – коэффициент трения почвы о кольцо.

В данном случае вводим допущение, что $h_{cm} = r_{ck}$, так как давление на почву кольцо оказывает на площади контакта дуги DEK . Тогда $b_k = 2r_{ck} = d_{ck}$.

В этом случае элементарная реакция, действующая на каждый элемент db_{kl} кольца с учетом формул (10) и (11), составит:

$$dR_{II} = \frac{2q\sqrt{2r_k'}(h_{cm}')^{1.5}}{3 \cos \delta} db_{kl}, \quad (13)$$

где r_k' – переменный радиус кольца, к которому приложена реакция, м; h_{cm}' – переменная величина смятия почвы, м.

Как следует из рис. 6, переменные радиус приложения реакции и величина смятия почвы соответственно

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

$$h_{cm}' = \frac{b_{kl}}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (15)$$

Подставив выражения (14) и (15) в (13), заменив переменные и, выполнив соответствующие преобразования, получим:

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

Интегрируя выражение (16) получим:

$$R_{II} = \frac{2\sqrt{2} q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{3 \cos \delta} \int_0^{b_k} \sqrt{r_k - r_{ck} + \frac{b_{kl}}{\operatorname{tg} \varphi}} \left(\frac{b_{kl}}{\operatorname{tg} \varphi} \right)^{1,5} db_{kl}, \quad (17)$$

или

$$R_{II} = \frac{0,94 q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{\cos \delta \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi} \int_0^{b_k} \sqrt{(r_k - r_{ck}) \operatorname{tg} \varphi + b_{kl}} (b_{kl})^{1,5} db_{kl}. \quad (18)$$

Для упрощения расчетов заменим переменные:

$$\frac{0,94 q (\operatorname{tg} \varphi + 1)}{\cos \delta \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi} = c,$$

$$(r_k - r_{ck}) \operatorname{tg} \varphi = u.$$

Тогда

$$R_{II} = c \int_0^{b_k} \sqrt{u + b_{kl}} \cdot b_{kl}^{1,5} db_{kl}. \quad (19)$$

Вычислив интеграл в выражении (19) и выполнив соответствующие преобразования с учетом того, что $b_k = d_{ck}$, окончательно можно записать:

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

Выводы

Таким образом, при уплотнении почвы в гребне и ее смятии на требуемую величину реакция почвы от действия на нее прикатывающих колец зависит при известных физико-механических свойствах данного типа почвы, зависит от размеров прикатывающих колец катка-гребнеобразователя.

Библиографический список

1. Закон плодосмена: экономическая и энергетическая эффективность севооборотов / В.П. Заикин, А.Е. Шамин, А.Ю. Лисина, Е.Е. Борисова // Вестник НГИЭИ. – 2016. - № 3 (58). – С. 72-80.
2. 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.
3. Курдюмов, В.И. Оптимизация параметров катка-гребнеобразователя / В.И.

Курдюмов, Е.С. Зыкин // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. - № 1. – С. 15-16.

4. Осокин, В.Л. Методические вопросы объективной оценки потенциала энергосбережения / В.Л. Осокин, Б.В. Папков, В.А. Горохов // Вестник НГИЭИ. – 2016. - № 4 (59). – С. 98-106.

5. Рембалович, Георгий Константинович. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов; монография / Г.К. Рембалович. – Рязань, Рязанский государственный агро-технологический университет им. П.А. Костычева, 2014. – 301 с.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Пат. 108902 Российская Федерация, МПК А01В49/04. Секция сеялки-культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, И.А. Шаронов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА». - № 2011100230/13; заявл. 11.01.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 28.