

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИЛЫ, ТРЕБУЕМОЙ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КАТКА ГРЕБНЕВОЙ СЕЯЛКИ

**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»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

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

e-mail: evg-zykin@yandex.ru

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергия, технология, почва, растениеводство, возделывание.

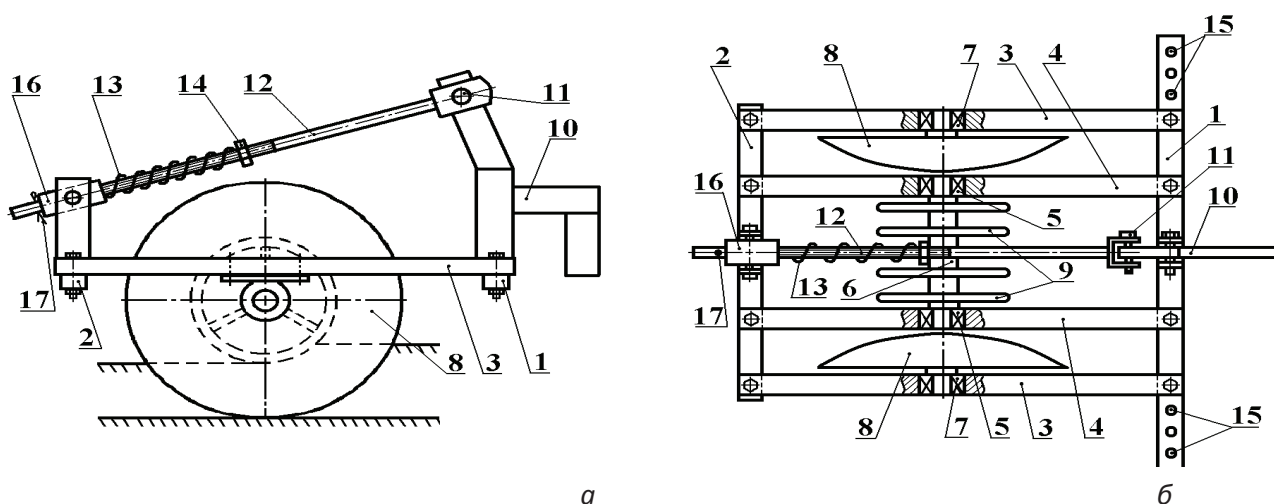
Предложена гребневая сеялка, каждая секция которой оснащена лапой-сошником, двумя гребнеобразователями и катком. Применение гребневой сеялки позволяет одновременно выполнить предпосевную культивацию, высеив семян, образование над строчкой высеянных семян бугорка почвы, уплотнение бугорка почвы с трех сторон, а также окончательно сформировать гребень почвы требуемых размеров и плотности почвы в нем. В статье рассмотрен процесс формирования гребня почвы катком, а также теоретически обоснована сила, необходимая на перемещение одного катка гребневой сеялки. В процессе исследований выявлено, что дополнительная вертикальная нагрузка, создаваемая сжатием пружины катка, равномерно распределяется на прикапывающие кольца (50 %) и сферические диски (50 %). Кроме того, элементарные силы сопротивления почвы на рабочей поверхности и лезвии сферического диска не имеют одной равнодействующей силы, но могут быть приведены к двум перекрещивающимся силам, действующим в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При смятии (уплотнении) почвы выпуклой стороной сферического диска по линии его контакта с почвой образуется уплотненное ядро, а в почве возникают линии скольжения от места контакта почвы со сферическим диском и распространяются в разные стороны. Теоретические исследования процесса формирования гребня почвы катком гребневой сеялки позволили также выявить, что сила, необходимая на перемещение одного катка гребневой сеялки, зависит от его веса и дополнительной вертикальной нагрузки на каток, конструктивных параметров элементов катка, требуемой плотности почвы в формируемом гребне, а также физико-механических свойств почвы.

### Введение

В настоящее время активно внедряют берегающие технологии возделывания пропашных культур, основанные на сокращении количества выполняемых технологических операций, замене отвальной обработки почвы безотвальной, прямом посеве сельскохозяйственных культур, применении гербицидов и комбинированных машин. Однако известно, что комбинированные машины и агрегаты не всегда обеспечивают выполнение агротехнических требований, предъ-

являемых к возделыванию пропашных культур, особенно при их возделывании по гребневым технологиям.

Несмотря на значительное количество научных изысканий, проблема энерго-, ресурсосбережения при возделывании пропашных культур остается актуальной. Традиционные технологии посева пропашных культур на ровную поверхность поля являются наиболее распространенными. Однако исследованиями установлено, что наиболее перспективным является



а

б

**Рис. 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 – отверстия; 16 – муфта; 17 – шплинт

гребневой посева.

#### Объекты и методы исследований

Анализируя известные способы предпосевной подготовки поля и гребневого посева пропашных культур, можно заключить, что гребни формируют активными и пассивными катками почвообрабатывающих машин, в частности, прикатывающими кольцами и сферическими дисками катков.

Для практической реализации гребневого посева [1, 2, 3] разработана гребневая сеялка [4, 5, 6], на каждой секции которой установлены лапа-сошник, два гребнеобразователя и каток. Гребневой сеялкой одновременно выполняют предпосевную культивацию, высев семян, образование над высеванными семенами бугорка почвы и уплотнение бугорка почвы с трех сторон, а также окончательное формирование гребня почвы требуемых размеров и плотности почвы в нем.

Известно, что прикатывание почвы является малоэнергоёмкой технологической операцией, следовательно, перспективно совместить прикатывание почвы одновременно с посевом. Однако задача определения силы, требуемой на перемещение катка гребневой сеялки не решена.

Каток гребневой сеялки (рис. 1) 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 сферическими дисками 8 расположены прикатывающие кольца 9, свободно вращающиеся на оси 6.

На передней поперечной балке 1 катка установлен кронштейн 10, посредством кото-

рого каток агрегируют с гребневой сеялкой. К кронштейну 7 при помощи пальца 11 шарнирно присоединена штанга 12. На штанге 12 свободно установлена пружина 13. Усилие сжатия пружины регулируют перемещением гайки 14 по резьбовой части штанги 12. В поперечной балке 1 выполнены отверстия 15 для регулирования угла установки сферических дисков 8 к направлению движения гребневой сеялки в пределах 0...30°.

При движении катка по предварительно сформированному бугорку почвы сферические диски 8, установленные выпуклой стороной к продольной оси симметрии катка, уплотняют бугорок почвы с боковых сторон, а прикатывающие кольца 9, за счет давления пружины 13, уплотняют вершину бугорка почвы и окончательно формируют над высеванными семенами гребень почвы высотой 6...8 см и требуемой плотности почвы в нем.

#### Результаты исследований

Прикатывающие кольца и сферические диски установлены на продольных балках составной рамы. Дополнительная вертикальная нагрузка, создаваемая пружиной катка, равномерно распределяется на прикатывающие кольца (50 %) и сферические диски (50 %). Тогда силу, требуемую для перемещения катка, определим по формуле:

$$T_{к-г} = T_{пк} + T_{сд} = 0,86 n_k \sqrt[3]{\frac{(G_k + 0,5G_{к-г})^4}{q \pi r_{ск} D_k^2}} + T_{сд}, \quad (1)$$

где  $T_{пк}$  – сила, требуемая на перемещение прикатывающих колец, Н;  $T_{сд}$  – сила, требуемая на перемещение сферических дисков, Н;  $n_k$  – количество прикатывающих колец, шт.;  $G_k$  – вес од-

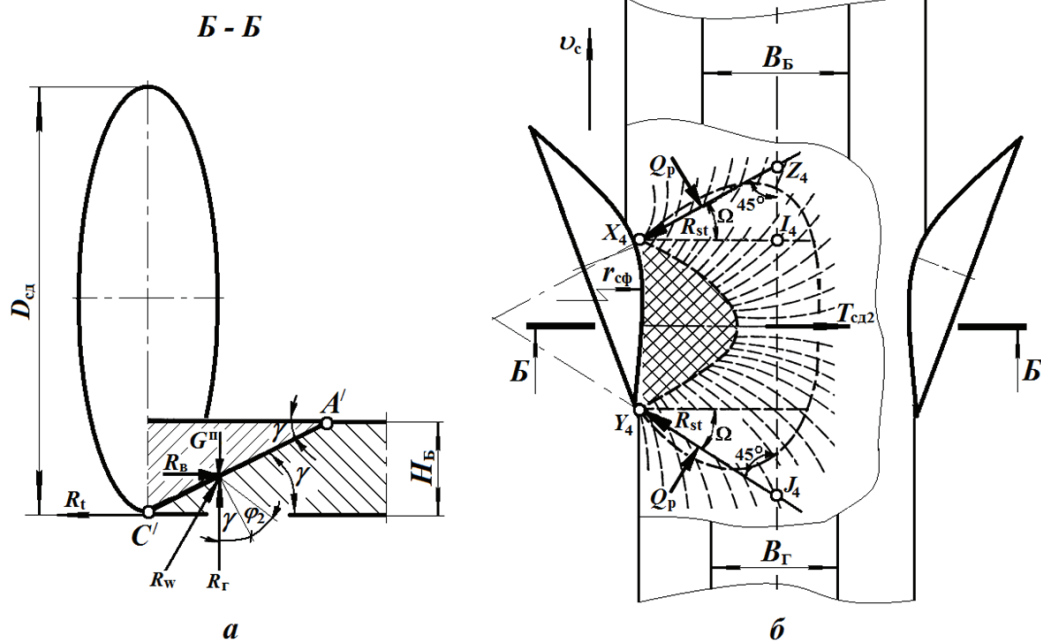


Рис. 2 – Силы, возникающие при уплотнении бугорка почвы сферическим диском (обозначения в тексте)

ного прикатывающего кольца,  $H$ ;  $G_{к-г}$  – вес рамы катка и дополнительная вертикальная нагрузка от сжатия пружины,  $H$ .

Учитывая, что сферические диски катка установлены выпуклыми сторонами к направлению движения гребневой сеялки с углами  $\alpha_{сд}$ , град., и в процессе вращения определенный объем почвы вминают в боковые стороны бугорка, то сила,  $H$ , на перемещение сферических дисков

$$T_{сд} = T_{сд1} + T_{сд2} + T_{сд3}, \quad (2)$$

где  $T_{сд1} = f_{сд} (G_{сд} + 0,5G_{к-г})$  – сила, затрачиваемая на перемещение сферических дисков,  $H$ ;  $f_{сд}$  – коэффициент сопротивления перемещению сферических дисков;  $G_{сд}$  – вес сферических дисков катка,  $H$ ;  $T_{сд2}$  – сила, затрачиваемая на деформацию (уплотнение) почвы,

$H$ ;  $T_{сд3} = \varepsilon_{сп} n_{сд} F v_c^2$  – сила, необходимая для придания кинетической энергии уплотняемой почве в горизонтальной плоскости,  $H$  [11];

$n_{сд}$  – количество сферических дисков катка.

Элементарные силы сопротивления почвы на рабочей поверхности и лезвии сферического диска, по мнению ряда авторов [7, 8, 9, 10], не имеют одной равнодействующей силы, но могут быть приведены к двум перекрещивающимся силам, действующим в горизонтальной и вертикальной плоскостях. При смятии (уплот-

нении) почвы выпуклой стороной сферического диска по линии его контакта с почвой образуется уплотненное ядро, а в почве возникают линии скольжения от места контакта почвы со сферическим диском и распространяются в разные стороны (рис. 2).

Сила,  $H$ , затрачиваемая на уплотнение (деформацию) почвы выпуклыми сторонами двух симметрично установленных сферических дисков при формировании гребня почвы,

$$T_{сд2} = n_{сд} (R_w + R_t), \quad (3)$$

где  $R_w$  – сопротивление смятия почвы,  $H$ ;  $R_t$  – сила трения почвы о сферический диск,  $H$ .

Сопротивление,  $H$ , смятию почвы сферическим диском

$$R_w = R_b + R_r, \quad (4)$$

где  $R_b$  – сила, способствующая продвижению объема сминаемой почвы весом  $G^п$  по боковому основанию бугорка почвы  $C'A'$ ,  $H$ ;  $R_r$  – сила, необходимая для разъединения почвы по площади ее контакта с выпуклой стороной сферического диска,  $H$ .

Силу, способствующую продвижению объема сминаемой почвы весом  $G^п$ , в единицу времени, по боковому основанию бугорка почвы  $C'A'$ ,  $H$ , определим по формуле [10]:

$$R_b = G^п \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_2), \quad (5)$$

где  $G^п$  – вес сминаемого объема почвы,  $H$ . Из рис. 2 следует, что

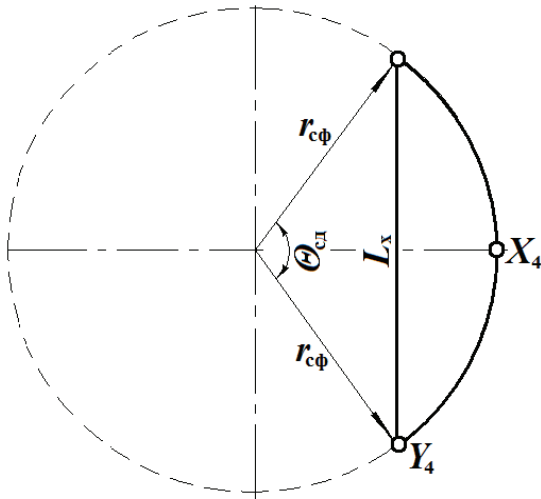


Рис. 3 – К определению дуги контакта  $l_{сд}$

$$R_{в} = \rho H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_2) \left( \frac{l_{сд}}{2} + 2H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \frac{\Omega}{360} \right), \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность почвы в бугорке, кг/м<sup>3</sup>;  $H_{б}$  – высота бугорка почвы до его смятия, м;

$l_{сд} = X_4 Y_4$  – длина дуги выпуклой стороны сферического диска по линии его контакта с почвой, м;  $\Omega$  – угол скола боковых элементов тел скольжения почвы, град.

Для определения дуги  $X_4 Y_4$  выпуклой стороны сферического диска контакта с почвой воспользуемся рис. 3.

Из рис. 3 следует, что

$$l_{сд} = \frac{\theta_{сд} r_{сф}}{2} = \frac{r_{сф} L_x \cdot 180^\circ}{2 \pi r_{сф}} = \frac{D_{сд} \cdot 90^\circ}{\pi}, \quad (7)$$

где  $\theta_{сд}$  – угол контакта сферического диска, град.;  $r_{сф}$  – радиус сферы диска, м;  $L_x$  – хорда, м, в данном случае  $L_x = D_{сд}$ .

Подставив формулу (7) в (6) и выполнив соответствующие преобразования, получим:

$$R_{в} = \rho H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_2) \left( \frac{D_{сд}}{4} + 2H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \frac{\Omega}{360} \right). \quad (8)$$

Исследованиями Синеокова Г.Н. [7] установлено, что при уплотнении почвы в ней возникают упругие и пластические деформации, имеющие форму кругового конуса (фигура  $X_4 Y_4 J_4 Z_4$ ,

рис. 2б) с углами распространения деформаций 45° при основании конуса. Из  $\Delta X_4 Z_4 J_4$  следует, что угол скола  $\Omega = 45^\circ$ .

Силу  $R_{г}$  определим по формуле:

$$R_{г} = K_{сд} \sum F_{сск}, \quad (9)$$

где  $K_{сд}$  – удельное сопротивление почвы сдвигу, Н/м<sup>2</sup>;  $\sum F_{сск}$  – суммарная площадь скольжения сминаемого объема почвы, м<sup>2</sup>.

Тогда

$$\sum F_{сск} = F = H_{б} r_{сд}. \quad (10)$$

Подставив выражение (10) в (9), определим силу, Н, требуемую для разъединения почвы по площади ее контакта с выпуклой стороной одного сферического диска катка:

$$R_{г} = K_{сд} H_{б} r_{сд}. \quad (11)$$

Подставив выражения (6) и (11) в (4), определим сопротивление, Н, смятия почвы одним сферическим диском катка:

$$R_{w} = \rho H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_2) \left( \frac{D_{сд}}{4} + 2H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \frac{\Omega}{360} \right) + K_{сд} H_{б} r_{сд}. \quad (12)$$

Сила трения, Н, почвы о сферический диск

$$R_{т} = G^n \operatorname{tg} \varphi_2. \quad (13)$$

Подставив выражения (12) и (13) в (3), определим силу, затрачиваемую на деформацию почвы выпуклыми сторонами сферических дисков:

$$T_{сд2} = n_{сд} \left[ \rho H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_2) \left( \frac{D_{сд}}{4} + 2H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \frac{\Omega}{360} \right) + K_{сд} H_{б} r_{сд} + G^n \operatorname{tg} \varphi_2 \right] \quad (14)$$

Подставив выражение (14) в (2) и выполнив соответствующие преобразования, определим силу, требуемую на перемещение сферических дисков:

$$T_{сд} = f_{сд} (G_{сд} + 0,5G_{кд}) + n_{сд} \left[ \rho H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_2) \left( \frac{D_{сд}}{4} + 2H_{б} \operatorname{ctg} \gamma \frac{\Omega}{360} \right) + K_{сд} H_{б} r_{сд} + G^n \operatorname{tg} \varphi_2 \right] + 2 \varepsilon_{сд} H_{б} r_{сд} v_{сд}^2. \quad (15)$$

Подставив выражение (15) в (1), определим силу, необходимую на перемещение одного катка гребневой сеялки:

$$T_{кр} = 0,86 n_k \sqrt[3]{\frac{(G_k + 0,5G_{кр})^4}{q \pi r_{ск} D_k^2}} + f_{сд}(G_{сд} + 0,5G_{кр}) + n_{сд} \left[ \rho H_B \text{ctg} \gamma \text{tg}(\gamma + \varphi_2) \left( \frac{D_{сд}}{4} + 2H_B \text{ctg} \gamma \frac{\Omega}{360} \right) + K_{сд} H_B r_{сд} + G^n \text{tg} \varphi_2 \right] + 2 \varepsilon_{сд} H_B r_{сд} v_c^2. \quad (16)$$

### Выводы

Таким образом, сила, требуемая на перемещение одного катка гребневой сеялки, зависит от веса  $G_k$  прикатывающихся колец и  $G_{кр}$  рамы катка и дополнительной вертикальной нагрузки от сжатия пружины, геометрических размеров  $r_{ск}$  и  $D_k$  прикатывающихся колец, диаметра  $D_{сд}$  сферических дисков, скорости  $v_c$  движения гребневой сеялки, а также физико-механических свойств почвы:  $q, K_{сд}, f_{сд}, \varepsilon_{сд}, \gamma$  и  $\varphi_2$ .

### Библиографический список

1. Патент 2443094 РФ, МПК А01В79/02, А01G1/00. 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.
2. Патент 2612441 РФ, МПК А01С7/00. Способ гребневого посева пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Долгов, А.В. Ерошкин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА. - № 2016101307; заявл. 18.01.2016; опубл. 09.03.2017, Бюл. № 7.
3. Патент 2612440 РФ, МПК А01В 79/02, А01G 1/00. Способ гребневого возделывания пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, А.В. Ерошкин, С.А. Долгов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА.

- № 2016101304; заявл. 18.01.2016; опубл. 09.03.2017, Бюл. № 7.

4. Патент 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.

5. Патент 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.

6. Курдюмов В.И. Энергосберегающие средства механизации гребневого возделывания пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин // Вестник Ульяновской ГСХА. - 2013. - № 1(21). - С. 144-149.

7. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. - М.: Машиностроение, 1965. - 188 с.

8. Нартов П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1972. - 184 с.

9. Стрельбицкий В.Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины / В.Ф. Стрельбицкий. - М.: Машиностроение, 1978. - 135 с.

10. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Издание 2-е, переработанное и дополненное. / А.Н. Зеленин. - М.: Машиностроение, 1968. - 367 с.

11. Курдюмов В.И. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин. - Ульяновск: Vega-МЦ, 2017. - 320 с.

## THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE FORCE REQUIRED FOR MOVING OF A RIDGE-SEEDER ROLLER

Kurdyumov V.I., Zykin E.S.

FSBEI HE Ulyanovsk SAU

432017, Ulyanovsk, Novyi Venets bld., 1,

tel. : 8 (8422) 55-95-95; e-mail: evg-zykin@yandex.ru

*Keywords: energy saving, energy, technology, soil, crop production, cultivation*

*A ridge seeder is proposed, each section of which is equipped with a paw-opener, two ridgers and a roller. The application of a ridge seeder allows to perform simultaneous pre-sowing cultivation, seed sowing, formation of a seed hillock above a row of seeds, compaction of the soil hillock on three sides, and finally forming a soil ridge of required size and soil density. The article considers the process of formation of the soil ridge by a roller, and also the force necessary to move one roller of a ridge seeder is theoretically justified. During the research it was revealed that the additional vertical load created by the compression of the roller spring is evenly distributed between the rolling rings (50%) and the spherical disks (50%). In addition, the elementary forces of soil resistance on the working surface and spherical disk blade do not have a single resultant force, but can be brought to two intercross forces acting in the horizontal and vertical planes. When the soil is compressed (compacted) by the convex side of the spherical disk, a compacted core is formed along the line of its contact with the soil, and slip lines appear on the soil from the place of contact of the soil with the spherical disk and spread in different directions. Theoretical studies of formation of the soil ridge by a ridge seeder roller also revealed that the force necessary to move one roller of a ridge seeder depends on its weight and additional vertical load on the roller, the structural parameters of the roller elements, the required soil density in the ridge being formed, and also on physical and mechanical properties of the soil.*

### Bibliography

1. Patent 2443094 of the Russian Federation, IPC A01B79/02, A01G1/00. Method of cultivating tilled crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin; patent owner FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin». - № 2010141211/13; appl. 10/07/2010; publ. 27.02.2012, Bul. № 6.
2. Patent 2612441 of the Russian Federation, IPC A01S7/00. Method of ridge planting of tilled crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.A. Dolgov, A.V. Eroshkin; patent owner FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin». - № 2016101307; appl. 01/18/2016; publ. 03/09/2017, Bul. № 7.
3. Patent 2612440 of the Russian Federation, IPC A01B 79/02, A01G 1/00. Method of ridge-cultivation of tilled crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, A.V. Eroshkin, S.A. Dolgov; patent owner FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin». - № 2016101304; appl. 01/18/2016; publ. 03/09/2017, Bul. № 7.
4. Patent 2435353 Russian Federation, IPC A01S7/00, A01B49/06. A ridge seeder / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin; patent owner FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin». - № 2010129256/13; appl. 14.07.2010; publ. 10.12.2011, Bul. № 34.
5. Patent 2435352 Russian Federation, IPC A01S7/00, A01B49/06. A ridge seeder / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin; patent owner FSBEI HPE «Ulyanovsk State Agricultural Academy named after P.A. Stolypin». - № 2010129255/13; appl. 14.07.2010; publ. 10.12.2011, Bul. № 34.
6. Kurdyumov, V.I. Energy-saving means of machinery of ridge cultivation of tilled crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2013. - № 1 (21). - P. 144-149.
7. Sineokov, G.N. Design of soil-cultivating machines / G.N. Sineokov. - M.: Mechanical Engineering, 1965.
8. Nartov, P.S. Disk soil cultivating tools / P.S. Nartov. - Voronezh: Publishing house of VSU, 1972. - 184 p.
9. Strelbitskiy, V.F. Disk tillage machines / V.F. Strelbitskiy. - M.: Mechanical Engineering, 1978. - 135 p.
10. Zelenin, A.N. Fundamentals of soil destruction by mechanical methods / A.N. Zelenin. - Second edition, revised and updated. - M.: Mechanical Engineering, 1968. - 367 p.
11. Kurdyumov, V.I. Technology and means of mechanization of ridge cultivation of tilled crops / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin. - Ulyanovsk: Vega-MC, 2017. - 320 p.