

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДНОГО ЗУБОВОГО ДИСКА

Савельева Ирина Юрьевна, аспирант кафедры «Тракторы и автомобили»

Милюткин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология производства и экспертиза продукции из растительного сырья»

ФГБОУ ВО Самарская ГСХА

446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2

тел.: 8(846-63) 46-2-31

Ключевые слова: уплотненная почва, физико-механические свойства, глубина посева, рыхление почвы, посев.

Решение проблемы качественной предпосевной подготовки почвы является одним из определяющих условий для получения высоких урожаев культурных растений. Наиболее сложной задачей является создание оптимальных почвенных условий по следам тракторов. Для разуплотнения почвы по следам тракторов предлагается применять разуплотнитель почвы с комбинированными рабочими органами, позволяющими формировать в уплотненной почве продольно-вертикальные ленты, которые рыхлятся ярусно расположенными подрезающими и рыхлительными лапками с дополнительным рыхлением приводными зубовыми дисками и последующим созданием прутково-планчатными катками оптимальной плотности почвы. Основой предлагаемого технологического процесса является рыхление уплотненной почвы ярусно расположенными подрезающими и рыхлительными лапками совместно с приводными зубовыми дисками. Качественное рыхление достигается при оптимальных конструктивно-режимных параметрах рассматриваемых рабочих органов. В работе приводится теоретический анализ взаимодействия рабочих органов разуплотнителя почвы: приводного зубового диска с движущимся пластом почвы, предварительно обработанным подрезающими и рыхлительными лапками. Теоретически обоснованы траектории движения слоев почвы после рыхления подрезающей и рыхлительной лапками с учетом состояния этих слоев, а также определены координаты точки начала взаимодействия зубовых дисков с поверхностью обрабатываемого слоя почвы. Проведенные теоретические исследования позволили определить текущие координаты частиц почвы после ее схода с рабочих поверхностей подрезающей и рыхлительной лапок. Получены выражения для расчета радиуса и количества зубьев зубового диска, а также окружной скорости его вращения, при которой обеспечивается необходимое качество рыхления почвенных агрегатов с учетом их физико-механических свойств.

Введение

Производство зерна в сельскохозяйственном производстве - одна из важнейших задач, в решении которой проведение качественной предпосевной подготовки почвы и посева является основой будущего высокого урожая. Существенными сдерживающими факторами при этом являются уплотнение почвы и оставляемые на поверхности поля следы применяемых энергосредств – сельскохозяйственных тракторов, по которым в уплотненной почве не выдерживается глубина посева и отсутствуют оптимальные условия для роста растений [1, 2, 3, 4]. Для устранения этих недостатков эффективно рыхление почвы в следах с последующим выравниванием и оптимизацией плотности посредством применения специальных рыхлительных устройств.

В предлагаемом рыхлительном устройстве – разуплотнителе почвы [5, 6] - применены ножевые стойки, нарезающие в продольно-вертикальной плоскости почвенные ленты, которые далее рыхлят подрезающие и рыхлительные лапки, а затем - приводные зубовые диски. При этом качество рыхления уплотненной почвы во

многом определяют конструктивно-режимные параметры приводных зубовых дисков.

Объекты и методы исследований

Уплотненную почву по следам трактора лучше всего разуплотняет навешенный на трактор разуплотнитель с комбинированными рабочими органами при выполнении технологических процессов посева или культивации (рис. 1). Применение данного разуплотнителя позволяет создать одинаковые с неуплотненными участками поля почвенные условия за счет рыхления уплотненной почвы в следах, выравнивания и прикатывания разрыхленной почвы до оптимального состояния [5, 6].

Качество крошения уплотненной почвы определяется эффективностью взаимодействия зубовых дисков с предварительно разрыхленной подрезающими и рыхлительными лапками почвой, поэтому объектом исследования является технологический процесс рыхления уплотненной почвы в следах движителей тракторов подрезающими и рыхлительными лапками совместно с приводными зубовыми дисками.

Для исследований рассматриваемого тех-

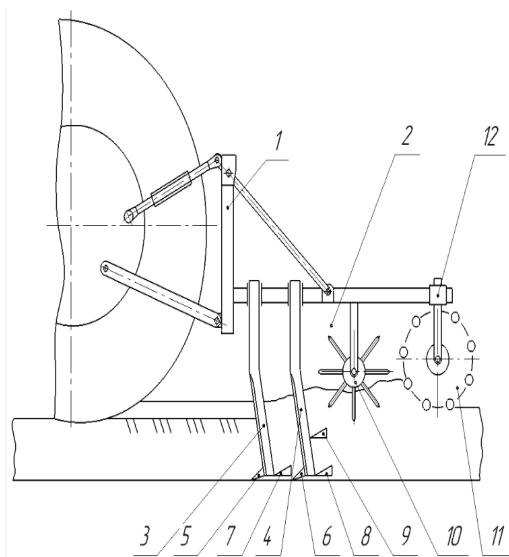


Рис. 1 – Разуплотнитель почвы:

1 – навесное устройство; 2 – рабочая секция разуплотнителя; 3, 4 – ножевые стойки; 5, 6 – долота ножевой стойки; 7, 8 – подрезающие лапки; 9 – рыхлительная лапка; 10 – приводной зубовой диск; 11 – прутково-планчатый каток; 12 – механизм регулирования продольно-вертикального положения прутково-планчатого катка

нологического процесса рыхления уплотненной почвы в следах движителей тракторов применены методы классической теории земледельческой механики и теории дробления материалов.

Результаты исследований

При обосновании конструктивно-технологических параметров приводного зубового диска для качественного рыхления почвенных агрегатов в лентах после обработки ножевыми стойками подрезающими и рыхлительными лапками необходимо исходить из условия, что средняя глубина следа $h_{сл} = 0,04 \dots 0,08$ м. Глубина обработки уплотненной почвы в следах трактора $h_p = 0,08$ м. Радиус ступицы диска $r_{ст}$, расстояние от поверхности поля до ступицы $\Delta_{ст}$ принимают из конструктивных соображений, поэтому рабочая длина зуба $l_{рз}$ определяется также толщиной предварительно разрыхленного подрезающей и рыхлительной лапками ножевых стоек и рыхлителей слоя уплотненной почвы h_p^{max} в следах трактора (рис. 2). С учетом этого радиус зубового диска

$$r_{зд} = r_{ст} + \Delta_{ст} + l_{рз} = r_{ст} + l_3, (1)$$

где $r_{ст}$ – радиус ступицы зубового диска, м; $\Delta_{ст}$ – расстояние от обрабатываемой поверхности поля до ступицы зубового диска, м; $l_{рз}$ – рабочая длина зуба, м; l_3 – длина зуба, м.

Анализ экспериментальных данных по определению габаритов почвенных агрегатов после рыхления ножевыми стойками с подрезающими и рыхлительными лапками показал, что их максимальный размер d_H в среднем составил $0,038$ м.

По агротребованиям, предъявляемым к поверхностной предпосевной обработке почвы, размер почвенных агрегатов не должен превышать $0,025$ м [7]. Для достижения такого качества крошения почвы приводной батареей зубовых дисков необходимо определить количество зубьев зубовых дисков и окружную скорость их вращения (частоту вращения зубовых дисков), исходя из состояния уплотненной почвы в почвенных агрегатах, которое характеризуется плотностью почвы ρ и модулем деформации почвы E .

Слой почвы в сформированной ножевыми стойками продольно-вертикальной ленте далее обрабатывается подрезающими лапками рыхлителей на глубине h_p рыхления следа, а затем предварительно разрыхленный ими слой обрабатывается рыхлительными лапками рыхлителей на глубине $h_{рл}$. Рыхлительная лапка располагается после подрезающей лапки по ходу движения на меньшей глубине, поэтому максимальные высоты подъема обрабатываемых ими слоев почвы различны. Оба слоя разуплотняются и в разрыхленном состоянии имеют большую, чем до начала рыхления толщину (рис. 2).

Приняв допущение, что разрыхляемые подрезающей и рыхлительной лапками слои почвы в вертикальном направлении соприкасаются, представим суммарную толщину h_p^{max} разрыхленных подрезающей и рыхлительной лапками слоев почвы толщиной соответственно $h_{пл}^{max}$ и $h_{рл}^{max}$ на их максимальной высоте подъема следующим образом:

$$h_p^{max} = h_{пл}^{max} + h_{рл}^{max}. (2)$$

Основываясь на теоретических исследованиях Г.Н. Синеокова [8], величины $h_{пл}^{max}$ и $h_{рл}^{max}$ можно определить по формулам:

$$h_{пл}^{max} = h_{тпл}^{max} + h_{пл} \frac{\sin(\alpha_{пл} + \psi_{пл})}{\sin \psi_{пл}}, (3)$$

$$h_{рл}^{max} = h_{трл}^{max} + h_{рл} \frac{\sin(\alpha_{рл} + \psi_{рл})}{\sin \psi_{рл}}, (4)$$

где $\psi_{пл}$; $\psi_{рл}$ – угол скола почвы перед рабочей поверхностью подрезающей и рыхлительной лапки [9], град.; $\alpha_{пл}$; $\alpha_{рл}$ – угол

нулю, т.е. $\vartheta_{хпл} = 0$ и $\vartheta_{хрл} = 0$, поэтому из выражений (21) и (22) определим соответствующие величины $t_{пл}$ и $t_{рл}$:

$$\left. \begin{aligned} t_{пл} &= \vartheta_p \frac{\sin^2 \alpha_{пл}}{\sin(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл}) * g}; \\ t_{рл} &= \vartheta_p \frac{\sin^2 \alpha_{рл}}{\sin(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл}) * g}. \end{aligned} \right\} (10)$$

Подставив значения $t_{пл}$ и $t_{рл}$ в выражения (8) и (9), можно определить координаты траектории движения частиц почвы после схода с рабочих поверхностей подрезающей и рыхлительной лапок в положении максимального подъема:

$$\left. \begin{aligned} X_{тпл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^2 \alpha_{пл} \cos \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл}) * g} + l_{пл} \cdot \cos \alpha_{пл} \\ Y_{тпл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})} + l_{пл} \cdot \sin \alpha_{пл} \end{aligned} \right\} (11)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{трл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^2 \alpha_{трл} \cos \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \cos \alpha_{рл} \\ Y_{трл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \sin \alpha_{рл} \end{aligned} \right\} (12)$$

При расположении рыхлительной лапки дальше подрезающей на расстоянии $\Delta_{рл}$ координаты максимальной точки подъема траектории обрабатываемых подрезающей и рыхлительной лапками слоев почвы могут быть определены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} Y_{пл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})} + l_{пл} \cdot \sin \alpha_{пл} + h_{пл} \frac{\sin(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})}{\sin \psi \psi_{пл}} \\ X_{пл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^2 \alpha_{пл} \cos \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл}) * g} + l_{пл} \cdot \cos \alpha_{пл} \end{aligned} \right\} (13)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_{рл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \sin \alpha_{рл} + h_{рл} \frac{\sin(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})}{\sin \psi \psi_{рл}} \\ X_{рл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^2 \alpha_{трл} \cos \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \cos \alpha_{рл} \end{aligned} \right\} (14)$$

Сделав допущение о том, что слой почвы, обрабатываемый подрезающей лапкой при установившемся движении верхней поверхностью прилегает к основанию верхнего слоя почвы, обрабатываемого рыхлительной лапкой в максимальной точке траектории его подъема, можно определить соответствующую высоту расположения всего слоя почвы h_p^{max} , обрабатываемого подрезающей и рыхлительной лапками:

$$\begin{aligned} h_p^{max} &= Y_{рл}^{max} + Y_{пл}^{max} = \\ &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \sin \alpha_{рл} + h_{рл} \frac{\sin(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})}{\sin \psi \psi_{рл}} + \\ &+ \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})} + l_{пл} \cdot \sin \alpha_{пл} + h_{пл} \frac{\sin(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})}{\sin \psi \psi_{пл}} \end{aligned} (15)$$

Координаты расположения центра зубового диска (рис. 2) будут определяться радиусом зубового диска $r_{зд}$, глубиной обработки h_p^{max} разрыхляемых слоев почвы и высотой расположения центра диска над горизонтальной поверхностью на уровне расположения точки А, равной $r_{ст} + \Delta_{ст}$, а также углом β , образованным между положением зуба в начальный момент рыхления в точке А максимального подъема разрыхляемых слоев почвы и вертикальным его расположением.

Координаты точки А относительно дна борозды можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} Y_A &= Y_{тпл}^{max} + Y_{трл}^{max} = \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})} + l_{пл} \cdot \sin \alpha_{пл} + \\ &+ \vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \sin \alpha_{рл} + h_{рл} \frac{\sin(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})}{\sin \psi \psi_{рл}} + \\ &\vartheta_p^2 \frac{\sin^4 \alpha_{пл}}{\sin^2(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})} + l_{пл} \cdot \sin \alpha_{пл} + h_{пл} \frac{\sin(\alpha_{пл} + \psi \psi_{пл})}{\sin \psi \psi_{пл}} \\ X_{рл}^{max} &= \vartheta_p^2 \frac{\sin^2 \alpha_{трл} \cos \alpha_{рл}}{\sin^2(\alpha_{рл} + \psi \psi_{рл})} + l_{рл} \cdot \cos \alpha_{рл} \end{aligned} (16)$$

Радиус зубового диска

$$r_{зд} = r_{ст} + \Delta_{ст} + Y_p^{max} (17)$$

Из рисунка 1 следует, что угол

$$\beta = \arccos \frac{r_{ст} + \Delta_{ст}}{r_{ст} + \Delta_{ст} + Y_p^{max}} (18)$$

Если сделать допущение о том, что треугольник АВС прямоугольный и принять условие, что $AD \cong 0,5 h_{рл}^{max}$, максимальный размер почвенного агрегата после рыхления зубом

$$\begin{aligned} d_a^{max} &= BC = \sqrt{AD^2 + S^2} = \\ &\sqrt{\left(\frac{Y_{рл}^{max}}{2}\right)^2 + S^2} \end{aligned} (19)$$

На основе теоремы Якоба Штейнера момент инерции зубового диска относительно оси его вращения

$$I_{дз} = m_з l_з^2 n_з + \frac{1}{2} m_{ст} r_{ст}^2 (20)$$

Приведенную массу зубового диска $m'_{зд}$ к точке удара зубом можно определить по формуле:

$$m'_{зд} = \frac{I_{дз}}{r_{зд}^2} = \frac{I_{дз}}{(l_з + r_{ст})^2}. \quad (21)$$

Поэтому

$$m'_{зд} = \frac{m_з l_з^2 n_з + \frac{1}{2} m_{ст} r_{ст}^2}{(l_з + r_{ст})^2}. \quad (22)$$

Основываясь на исследованиях С.Е. Андреева и И.М. Панова по теории дробления материалов, определим окружную скорость вращения зубового диска $v_{озд}$, м/с, при которой обеспечивается необходимое качество рыхления комков почвы с учетом их физико-механических свойств [11]:

$$v_{озд} = \sigma_{вп} \sqrt{\frac{\pi d_{н}^3 \rho + 6 g m'_{зд} l g v}{2 E m_з \rho (1 - K_в^2)}} =$$

$$= \sigma_{вп} \sqrt{\frac{\pi d_{н}^3 \rho + 6 g \left(\frac{m_з l_з^2 n_з + \frac{1}{2} m_{ст} r_{ст}^2}{(l_з + r_{ст})^2} \right) l g v}{2 E \rho \left(\frac{m_з r_з^2 n_з + \frac{1}{2} m_{ст} r_{ст}^2}{(r_з + r_{ст})^2} \right) (1 - K_в^2)}} \quad (23)$$

где $d_{н}$ – начальный диаметр почвенного агрегата, м; ρ – плотность почвы, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $v = \frac{d_{н}}{d_{к}}$ – степень рыхления уплотненных почвенных агрегатов; $d_{к}$ – диаметр почвенного агрегата после рыхления, м; E – модуль деформации почвы, МПа; $K_в$ – коэффициент восстановления упруго-пластической почвы в почвенном агрегате при ударе; $m'_{зд}$ – приведенная к точке удара масса зубового диска, кг.

Горизонтальное перемещение зубового диска S_1 при работе с учетом рабочей скорости движения v_p и интервала времени t_1 , при котором следующий зуб начнет воздействие на почвенный слой после предыдущего,

$$S_1 = v_p t_1 = v_p \frac{t_{об}}{n_з}, \quad (24)$$

где $t_{об}$ – время одного оборота зубового диска, с; $n_з$ – количество зубьев зубового диска. Время, с, одного оборота зубового диска

$$t_{об} = \frac{2\pi}{\omega_{зд}} \cdot t_{об} = \frac{2\pi}{\omega_{зд}}. \quad (25)$$

Так как

$$v_{озд} = \omega_{зд} r_{зд}, \quad (26)$$

то

$$S_1 = v_p \frac{t_{об}}{n_з} = v_p \frac{2\pi}{\omega_{зд} n_з} = \frac{2\pi r_{зд}}{v_{озд} n_з}, \text{ м}, \quad (27)$$

где $v_{озд}$ – окружная скорость вращения

зубового диска, м/с; $\omega_{зд}$ – частота вращения зубового диска, с⁻¹.

Количество зубьев зубового диска определим с использованием соотношения $S_1 = d_a^{max}$:

$$n_{зд} = \frac{2\pi r_{зд}}{v_{озд} S_1} = \frac{2\pi r_{зд}}{v_{озд} d_a^{max}} =$$

$$= \frac{2\pi r_{зд}}{v_{озд} \sigma_{вп} \sqrt{\frac{\pi d_{н}^3 \rho + 6 g \left(\frac{m_з l_з^2 n_з + \frac{1}{2} m_{ст} r_{ст}^2}{(l_з + r_{ст})^2} \right) l g v}{2 E \rho \left(\frac{m_з r_з^2 n_з + \frac{1}{2} m_{ст} r_{ст}^2}{(r_з + r_{ст})^2} \right) (1 - K_в^2)}}}}. \quad (28)$$

Оптимизировав количество зубьев зубового диска при наилучших значениях указанных выше параметров, можно добиться лучшего качества рыхления уплотненной почвы по следам трактора.

Выводы

В результате проведенных теоретических исследований получены выражения для расчета радиуса зубового диска $r_{зд}$, количества зубьев зубового диска $n_{зд}$, окружной скорости вращения зубового диска $v_{озд}$. Значения этих параметров находят из условия обеспечения требуемого качества рыхления почвы, которое определяется максимальными размерами почвенных агрегатов $d_{ак} = d_a^{max}$ и физико-механическими свойствами почвы.

Библиографический список

1. Поварь, А.А. Недостатки и сравнительный анализ орудий для поверхностной обработки почвы / А.А. Поварь, В.В. Мяло // Вестник Омского государственного университета. 2016. - № 1. - С. 242-249.
2. Boizard H. et al. Using a morphological approach to evaluate the effect of traffic and weather conditions on the structure of a loamy soil in reduced tillage // Soil and Tillage Research. – 2013. – Т. 127. – С. 34-44.
3. Shah A.N. et al. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview

// Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – Т. 24. – № 11. – Р. 10056-10067.

4. Канделя, М.В. Повышение эффективности производства зернобобовых культур в дальневосточном регионе / М.В. Канделя, Н.М. Канделя // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. - 2017.- № 1. – С. 45-54.

5. Патент 2516359 Российская Федерация, МПК А01В 37/00. Следоразрыхлитель трактора / Р.М. Мусин, И.Ю. Савельева, М.Р. Фатхутдинов; Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Самарская ГСХА. - № 2012147090/13; заявл. 06.11.2012; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

6. Мусин, Р.М. Следоразрыхлитель / Р.М. Мусин, И.Ю. Савельева, М.Р. Фатхутдинов // Сельский механизатор. - 2013. - № 13. - С. 9.

7. ГОСТ 33687-2015 Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. - М.: Стандартинформ, 2016. - 41 с.

8. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 322 с.

9. Ахметшин, Т.Ф. Влияние геометрических параметров почвообрабатывающих деталей на степень деформации почвы / Т.Ф. Ахметшин // Известия Оренбургского ГАУ. 2014. - № 1. – С. 50-53.

10. Шварц, А.А. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору разбрасывателя сыпучих минеральных и органических удобрений / А.А. Шварц, Б.П. Беседин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 7. - С. 66-69.

11. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. 1V-16 / И.П. Ксеневиц, Г.П. Варламов. Н.Н. Колчин и др. / Под ред. И.П. Ксеневица. - М.: Машиностроение, 1998 - 720 с.

SPECIFICATION OF CONSTRUCTIVE- OPERATING PARAMETERS OF DRIVEN TOOTH DISC

Savelyeva I.Yu., Milyutkin V.A.
FSBEI HE Samara State Agricultural Academy
446442, Samara Region, Kinel town, Ust-Kinelsky v., Uchebnaya st., 2.
tel. 8 (846-63) 46-2-31

Key words: compacted soil, physical and mechanical properties, depth of sowing, loosening of soil, sowing.

The solution of the problem of thorough pre-sowing soil preparation is one of the main factors for obtaining high crop yields. The most difficult task is to create appropriate soil conditions on tractor traces. To decompress the soil on tractor traces, it is proposed to use a soil decompressor with combined working organs that allow to form loosened longitudinal-vertical rows in the compacted soil. They are loosened by multilevel cut and loosening paws with additional loosening with driven tooth discs, which are followed by soil packing with rod-slatted rollers to create appropriate soil density. The basis of the proposed technological process is loosening of the compacted soil with multilevel cut and loosening paws together with the driven tooth discs. Appropriate loosening is achieved with suitable design-operating parameters of the working organs. This paper provides a theoretical analysis of interworking of the working organs of the soil decompressor: a driven tooth disk with a moving soil layer pre-tilled with cut and loosening paws. The paths of soil layers after loosening by cut and loosening paws are theoretically justified, taking into account the state of these layers, and also the coordinates of the contact of tooth discs with the surface of the treated soil layer are determined. The theoretical studies made it possible to determine the current coordinates of the soil particles after they leave the working surfaces of the cut and loosening paws. Equations are obtained for calculating the radius and number of teeth of the tooth disc, as well as circumferential speed of its rotation, at which the necessary quality of loosening of soil devices is provided, taking into account their physical and mechanical properties.

Bibliography

1. Povar, A.A. Disadvantages and comparative analysis of tools for surface soil tillage / A.A. Povar, V.V. Myalo // Vestnik of Omsk State University. 2016. - No. 1. - P. 242-249.
2. Boizard H. et al. Using a morphological approach, Soil and Tillage Research. - 2013. - T. 127. - С. 34-44.
3. Shah A.N. et al. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview // Environmental Science and Pollution Research. - 2017. - T. 24. - No. 11. - P. 10056-10067.
4. Kandelya, M.V. Efficiency increase of leguminous crop production in the Far Eastern region / M.V. Kandelya, N.M. Kandelya // Vestnik of Priamursky State University named after Sholom - Aleikhem. - 2017.- No. 1. - P. 45-54.
5. Patent 2516359 Russian Federation, IPC A01B 37/00. Tractor-trace desintegrator / R.M. Musin, I.Yu. Savelyeva, M.R. Fatkhutdinov; Applicant and patent owner FSBEI HE Samara State Agricultural Academy. - No. 2012147090/13; appl. 06.11.2012; publ. 20.05.2014, Bul. No. 14.
6. Musin, R.M. Trace desintegrator / R.M. Musin, I.Yu. Savelyeva, M.R. Fatkhutdinov // Farm machinery operator. - 2013. - No. 13. - P. 9.
7. State Standard 33687-2015 Machines and implements for soil surface tillage. Test methods. - Moscow: Standardinform, 2016. - 41 p.
8. Sineokov, G.N. Theory and calculation of soil-tillage machines / G.N. Sineokov, I.M. Panov. - M.: Machine manufacturing, 1977. - 322 p.
9. Akhmetshin, T.F. Influence of geometrical parameters of soil-tillage details on degree of soil deformation / T.F. Akhmetshin // Izvestiya of Orenburg State Technical University. 2014. - No. 1. - P. 50-53.
10. Schwartz, A.A. Analytical study of fertilizer motion on deflector plate of loose mineral and organic-mineral fertilizers distributor / A.A. Schwartz, B.P. Besedin // Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. - 2016. - No. 7. - P. 66-69.
11. Machine manufacturing. Encyclopedia. Editorial board: K.V. Frolov, et al - Agricultural machinery and equipment. V. 1V-16 / I.P. Ksenevich, G.P. Varlamov, N.N. Kolchin et al / Edited by I.P. Ksenevich. - Moscow: Machine manufacturing, 1998 - 720 p.