

П. П. Бегун, В. В. Микульский

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: mehposev@mail.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДИАМЕТРА КАТКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД МЕЛКОСЕМЯННЫЕ КУЛЬТУРЫ

Аннотация. В статье приведена аналитическая зависимость, позволяющая определить минимальный диаметр почвообрабатывающего катка с точки зрения его беспрепятственного перекаатывания через почвенные комки, находящиеся на обрабатываемом поле, с обеспечением требуемых показателей качества выполнения технологического процесса прикатывания почвы.

Ключевые слова: почвообрабатывающий каток, крошение, уплотнение, предпосевная обработка почвы.

P. P. Behun, V. V. Mikulski

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: mehposev@mail.ru*

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE DIAMETER OF THE ROLLER WORKING BODY FOR PRE-PLANT SOIL TILLAGE FOR SMALL-SEED CROPS

Abstract. The article presents an analytical relationship that allows us to determine the minimum diameter of a soil-cultivating roller from the point of view of its unhindered rolling through soil clods located on the cultivated field, ensuring the required quality indicators for the technological process of soil rolling.

Key words: tillage roller, crumbling, compaction, pre-sowing tillage.

Введение

Важнейшим аспектом получения дружных всходов является влияние агрегатного состава почвы. По данным ряда исследователей [1, 2], оптимальным фракционным составом поверхностного слоя почвы для снижения потерь влаги на физическое испарение являются агрегаты размерами 5–10 мм. Они лучше удерживают почвенную влагу, образуя эффективный мульчирующий слой. Крупные частицы, 10–20 мм и больше, значительно уменьшают количество всходов, а каждый процент крупной фракции снижает всхожесть на 1–2 % [3]. К тому же крупнокомковатая поверхность почвы значительно увеличивает потери влаги и отрицательно влияет на одновременное появление всходов культурных растений.

Качество прикатывания зависит от размеров и массы катков. Каток с малым диаметром действует преимущественно на поверхностные слои, тогда как катки с большим диаметром равномерно уплотняют и глубокие слои почвы. При увеличении диаметра катка уменьшается тяговое сопротивление орудия. Поэтому желательно, чтобы диаметр катков был не менее 40 см, что делает их движение по полю более равномерным.

Целью данной работы является теоретическое обоснование диаметра катковых рабочих органов, обеспечивающих дробление почвенных комков с требуемым качеством, удовлетворяющим агротехническим требованиям.

Основная часть

В результате обзора и анализа известных конструкций катков нами был обоснован выбор типа почвообрабатывающего катка для предпосевной подготовки почвы под мелкосемянные культуры.

Им является кольчато-шпоровый каток, состоящий из диска 2, по периферии которого установлены под некоторым углом перпендикулярно диску уплотняющие пластины 1 (рис. 1).

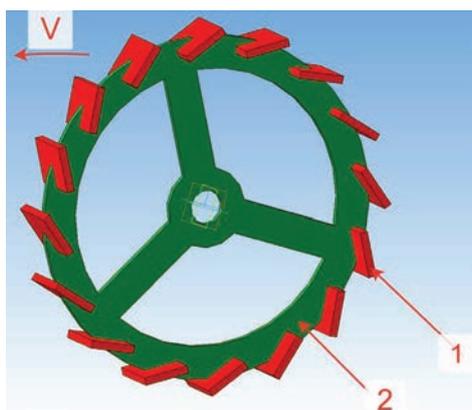


Рис. 1. Конструкция кольчато-шпорового почвообрабатывающего рабочего органа:
1 – уплотняющая пластина; 2 – диск

При движении почвообрабатывающего агрегата происходит вращение кольчато-шпорового катка за счет сцепления с почвой. Процесс взаимодействия катка с почвой включает этап внедрения, движения в почвенном слое, выход из него. Пластинчатые уплотняющие элементы катка входят в почву под некоторым углом, уплотняют ее, дробят комки и далее выходят из нее, поднимая при этом за счет сил трения некоторый тонкий слой почвы, которым мульчируют обрабатываемый поверхностный слой. В результате этого почва крошится, частично оборачивается и перемешивается. С учетом этого работа катка оценивается показателями крошения и уплотнения посевного ложа.

В соответствии с рекомендациями Н. И. Кленина и В. А. Сакуна [4], диаметр прикатывающего катка принимается из условия максимального размера разрушаемых почвенных комков или из условия обеспечения возможности перекатывания через почвенные комки, которое сопровождается их разрушением или вдавливанием в почву.

Данное условие в аналитической форме имеет следующий вид:

$$D_k \geq \frac{2h_{k \max}}{1 - \cos \beta}, \quad (1)$$

где D_k – диаметр прикатывающего катка, м; $h_{k \max}$ – максимальная высота почвенного катка, м; β – угол защемления почвенного комка, град.

Угол защемления почвенного комка катком определяется по формуле:

$$\beta = \varphi_n + \varphi_k, \quad (2)$$

где φ_n – угол трения почвы о почву, град; φ_k – угол трения почвы о материал катка, град.

Для нормальной работы и выполнения требований по качеству обработки почвы предлагаемому катку необходимо разрушать почвенные комки, создавая мульчированный слой на поверхности почвы и уплотнять почву в зоне укладки семян до значения, заданного агротребованиями.

При воздействии катка на крупный почвенный комок может произойти его дробление на более мелкие фракции или вдавливание в поверхностные слои почвы без разрушения. Реализация процессов крошения или вдавливания почвенного комка зависит от многих различных факторов: от суммы сил, приложенных к почвенному комку со стороны катка, от свойств почвы, а также от конструктивных параметров катка и режимов его работы. «Крошение комка почвы при воздействии на него почвообрабатывающего катка может произойти только тогда, когда напряжение σ_k , происходящее за счет давления наружной поверхности катка, превышает временное сопротивление деформации сжатия почвы $\sigma_{поч}$, которое выше допустимого напряжения сжатия, разрушающего комки почвы $\sigma_{ком}$ » [5]. Данное условие можно записать в следующем виде: $\sigma_k > \sigma_{поч} > \sigma_{ком}$.

Зачастую представленное выше неравенство не выполняется в связи с тем, что пересушенные комки имеют повышенную твердость. При таком условии допустимое напряжение сжатия, разрушающее комки почвы $\sigma_{ком}$, значительно повышается, что нередко приводит к вдавливанию крупных комков. В результате вдавливания происходит переуплотнение почвы, что критически сказывается на урожайности возделываемых культур.

Для качественного крошения комков почвы почвообрабатывающим катком нужно определить условие защемления почвенного комка между наружной поверхностью катка и поверхностью почвы. Условие защемления зависит от диаметра почвообрабатывающего катка.

При воздействии почвообрабатывающего катка на комок почвы возникает сила $F_{ц}$, которая характеризует действие почвообрабатывающего катка на почвенный комок и воздействие почвы F_n на почвенный комок (рис. 2).

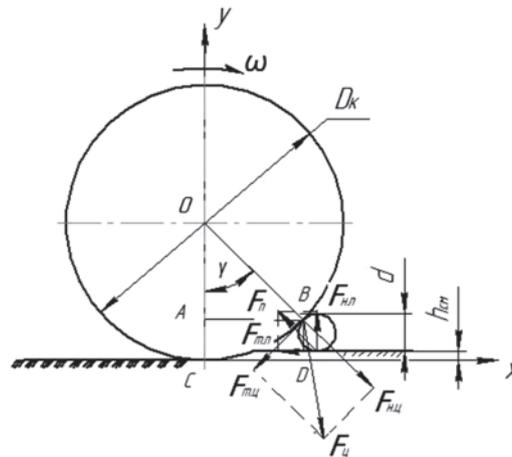


Рис. 2. Схема взаимодействия почвообрабатывающего катка с почвенным комком

При разложении этих двух сил мы получаем их нормальные составляющие $F_{ц,n}$ и $F_{n,n}$ и силы трения $F_{m,ц}$ и $F_{m,n}$. Если при сложении проекций двух сил трения на ось X полученная сумма будет больше значения суммы сил, которые спроецированы на ось X и направлены на выталкивание почвенного комка из-под почвообрабатывающего катка, то в этом случае комок почвы останется неразрушенным, вследствие чего произойдет его вдавливание в верхний слой почвы. Но если наоборот, сумма сил, направленных на выталкивание почвенного комка и спроецированных на ось X , окажется больше суммы сил трения, спроецированных на эту же ось, то почвенный комок, не разрушаясь, будет выталкиваться вперед почвообрабатывающего катка. В результате выталкивания почвенного комка будет образовываться почвенный валик перед почвообрабатывающим катком.

Рассмотрим исходные условия взаимодействия почвообрабатывающего катка с почвенным комком.

Для упрощения расчета примем, что почвообрабатывающий каток катится по поверхности почвы без проскальзывания, деформации поверхности почвы не происходит, а почвенный комок, лежащий на ее поверхности, имеет форму шара, максимальный диаметр d_{max} которого не превышает максимально заданного агротехнологическими требованиями. Условие защемления определяется из уравнений проекций суммы всех сил на оси X и Y , кроме веса почвенного комка, которым пренебрегаем:

$$\sum F_{kx} = F_{н,ц} \sin \gamma - F_{m,ц} \cos \gamma - F_{m,n} = 0; \quad (3)$$

$$\sum F_{ky} = F_{н,n} - F_{н,ц} \cos \gamma - F_{ц} = 0, \quad (4)$$

где $F_{н,ц}$ – нормальная составляющая силы воздействия почвообрабатывающего катка на почвенный комок, Н; $F_{m,ц}$ – сила трения почвообрабатывающего катка о почвенный комок, Н; $F_{m,n}$ – сила трения почвенного комка о поверхность почвы, Н; $F_{н,n}$ – нормальная составляющая воздействия

поверхности почвы на почвенный комок H ; γ – угол защемления обода почвообрабатывающего катка с почвенным комком, град.

Выразим силы трения катка и почвы через общеизвестную формулу

$$F_{m.u} = \mu_1 F_{n.u}, \quad (5)$$

$$F_{m.n} = \mu_2 F_{n.n}, \quad (6)$$

где μ_1, μ_2 – коэффициенты трения почвообрабатывающего катка об почвенный комок и об поверхность почвы соответственно.

Подставив в уравнения (3) и (4) выражения (5) и (6), получим следующее:

$$\sum F_{kx} = F_{n.u} \sin \gamma - \mu_1 F_{n.u} \cos \gamma - \mu_2 F_{n.n} = 0; \quad (7)$$

$$\sum F_{ky} = F_{n.n} - F_{n.u} \cos \gamma - \mu_1 F_{n.u} \sin \gamma = 0. \quad (8)$$

Из полученного уравнения (8) выразим силу, которая характеризует взаимодействия почвенного комка с поверхностью почвы:

$$F_{n.n} = F_{n.u} \cos \gamma + \mu_1 F_{n.u} \sin \gamma. \quad (9)$$

Получившееся уравнение (9) подставим в уравнение (7):

$$\sum F_{kx} = F_{n.u} \sin \gamma - \mu_1 F_{n.u} \cos \gamma - \mu_2 F_{n.u} \cos \gamma - \mu_1 \mu_2 F_{n.u} \sin \gamma = 0. \quad (10)$$

Математически преобразовав уравнение (10), получим:

$$(1 - \mu_1 \mu_2) \sin \gamma = (\mu_1 + \mu_2) \cos \gamma. \quad (11)$$

Разделив обе части уравнения (11) на $\cos \gamma$, получим:

$$\operatorname{tg} \gamma = (\mu_1 + \mu_2) / (1 - \mu_1 \mu_2). \quad (12)$$

Таким образом, для надежного защемления комка почвы почвообрабатывающим катком необходимо, чтобы:

$$\operatorname{tg} \gamma \geq (\mu_1 + \mu_2) / (1 - \mu_1 \mu_2). \quad (13)$$

Откуда следует, что надежное защемление почвенного комка почвообрабатывающим катком возникает в случае, если угол контакта почвообрабатывающего катка с почвенным комком удовлетворяет выражению:

$$\gamma \geq \operatorname{arctg} [(\mu_1 + \mu_2) / (1 - \mu_1 \mu_2)]. \quad (14)$$

Диаметр почвообрабатывающего катка D_k можно определить, исходя из зависимости, связывающей толщину слоя, деформируемого почвообрабатывающим катком h_{cm} , а также диаметр почвенного комка d_{max} и оптимальный угол защемления γ .

Обозначим расстояние от точки контакта почвообрабатывающего катка с поверхностью почвенного комка до необработанной поверхности почвы BD (рис. 2), которое определим из следующей зависимости:

$$BD = h_{cm} + 0,5d_{max} + d_{max} \cos \gamma \quad (15)$$

или

$$BD = h_{cm} + 0,5d_{max} + [1 + \cos \gamma]d_{max}. \quad (16)$$

где h_{cm} – толщина сминаемого слоя почвы, м; d_{max} – максимальный диаметр почвенного комка, м; γ – угол защемления комка почвообрабатывающим катком.

Расстояние $AC = BD$, оно определяется из следующего уравнения:

$$AC = BD = 0,5D_k + 0,5D_k \cos \gamma = 0,5D_k [1 + \cos \gamma]. \quad (17)$$

Из уравнения (17) выражаем D_k :

$$D_k = \frac{BD}{0,5[1 - \cos \gamma]}. \quad (18)$$

С учетом уравнений (16) и (14) получим минимальный диаметр почвообрабатывающего катка:

$$D_{k \min} = \frac{h_{cm} + 0,5d_{\max} \left[1 + \cos \left\{ \arctg \left[\frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2} \right] \right\} \right]}{0,5 \left[1 - \cos \left\{ \arctg \left[\frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2} \right] \right\} \right]}. \quad (19)$$

Зависимость угла зацемяния почвенного комка от радиуса почвообрабатывающего катка R_k соответственно:

$$\gamma \geq \arctg \left[\frac{R_{k \min} - h_{cm} - r_{\max}}{R_{k \min} + r_{\max}} \right]. \quad (20)$$

Формула (19) описывает взаимосвязь между минимальным диаметром почвообрабатывающего катка, толщиной деформируемого слоя почвы, наибольшим диаметром почвенных комков, заданных агротребованиями, коэффициентом трения между наружной поверхностью почвообрабатывающего катка и почвенным комком и коэффициентом трения между поверхностями комка и почвы.

Для расчетов и определения диаметра катка по выражению (19) примем следующие исходные данные [6, 7]:

- коэффициент трения почвообрабатывающего катка о почвенный комок $\mu_1 = 0,8-1,0$;
- коэффициент трения почвенного комка об поверхность почвы $\mu_2 = 0,3$;
- высота почвенного комка $d_{\max} = 0,01-0,07$ м, влажность почвы 16–18 %.

Результаты расчетов представлены на рис. 3.

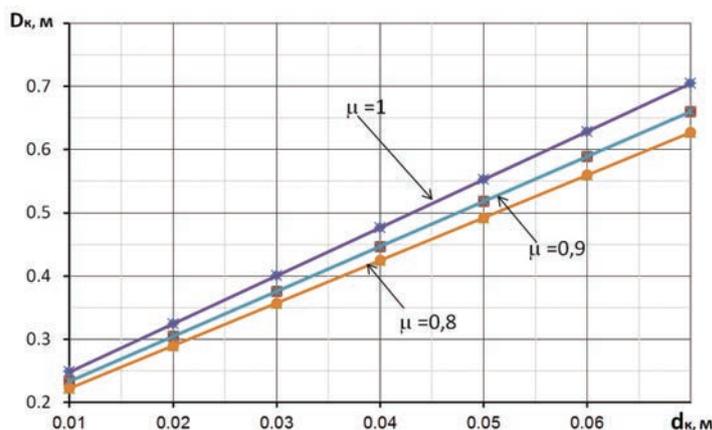


Рис. 3. График зависимости диаметра почвообрабатывающего катка от размера почвенных комков при различных углах трения почвенных комков о сталь

Заключение

Анализ графических зависимостей (рис. 3) позволяет сделать вывод, что с увеличением размера почвенных комков на поверхности обрабатываемого поля необходимо использовать катки

большого диаметра. Однако с учетом агротехнических требований, предъявляемых к основной обработке почвы, согласно которым основная масса комков (более 70 %) на подготавливаемом поле не должна превышать 0,05 м, принимаем диаметр почвообрабатывающего катка равным 0,5 м.

Список использованных источников

1. Руденко, Н. Е. Механизация ухода за пропашными культурами: учеб. пособие / Н. Е. Руденко. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – 88 с.
2. Медведев, В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 159 с.
3. Прикаточные катки сеялок: конструкционные преимущества, недостатки и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://propozitsiya.com/ua/prykochuvalni-kotky-sivalok-konstrukciyni-perevagy-nedoliky-ta-perspektivu-rozvytku>. – Дата доступа: 28.09.2023.
4. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н. И. Кленин, В. А. Сакур. – М.: Колос, 1994. – 751 с.
5. Казьмин, Г. Т. Проблемы освоения мелиоративной системы земледелия в хозяйствах Дальнего Востока / Г. Т. Казьмин // Земледелие. – 1986. – № 2. – С. 8–11.
6. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – 323 с.
7. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.