



DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-8

УДК: 631.313.5+631.514

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БОРОН И ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ В ПОЧВЕ

¹Яковлев Н.С., ¹Назаров Н.Н., ²Лапшин И.П., ¹Рассомахин Г.К., ¹Маркин В.В.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Заураля
Тюмень, Россия

Для цитирования: Яковлев Н.С., Назаров Н.Н., Лапшин И.П., Рассомахин Г.К., Маркин В.В. Исследование процесса скольжения кольцевых рабочих органов борон и почвообрабатывающих агрегатов в почве // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 1. С. 64–72.
DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-8.

For citation: Yakovlev N.S., Nazarov N. N., Lapshin I.P., Rassomakhin G.K., Markin V.V. Issledovanie protsessa skol'zheniya kol'tsevyykh rabochikh organov boron i pochvoobrabatyvayushchikh agregatov v pochve [Study of the sliding process of harrow ring working bodies and soil-tillage units in soil]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2020, vol. 50, no. 1, pp. 64–72.
DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-8.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Представлены результаты теоретических и полевых исследований скольжения кольца кольцевого катка при качении его по полю под углом атаки. Расчетным путем определена скорость скольжения кольца катка в зависимости от технических и кинематических параметров кольца. Анализ показал, что скорость скольжения кольца катка зависит от угловой скорости катка, диаметра кольца, угла атаки кольца и глубины обработки им почвы. На скорость скольжения также оказывают влияние изменение влажности и твердости почвы, ее механический состав, скорость движения и форма рабочих органов. Полевые исследования проводили на среднесуглинистых выщелоченных черноземных почвах Новосибирской области. Эксперимент проведен с кольцами, которые используются на почвообрабатывающих агрегатах «Лидер», кольцевых боронах «Лидер БКМ-3,6» и «Лидер БКС-8». Исследования проводили в два периода. Первый –

STUDY OF THE SLIDING PROCESS OF HARROW RING WORKING BODIES AND SOIL-TILLAGE UNITS IN SOIL

¹Yakovlev N.S., ¹Nazarov N.N., ²Lapshin I.P.,

¹Rassomakhin G.K.,¹Markin V.V.

¹*Siberian Federal Scientific Centre*

of AgroBioTechnologies

of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²*Northern Trans-Ural State Agricultural*

University

Tyumen, Russia

The paper presents of the results theoretical and field study of the ring of a ring roller when it slides across the field at the angle of attack. By calculation, the sliding speed of the roller ring is determined depending on the technical and kinematic parameters of the ring. The analysis showed that the sliding speed of the roller ring depends on the angular velocity of the roller, the diameter of the ring, the angle of attack of the ring and the depth of soil tillage. The sliding speed is also influenced by changes in soil moisture and hardness, its mechanical composition, speed of movement and the shape of the working bodies. Field studies were performed on medium loamy leached chernozem soil of Novosibirsk Region. The experiment was carried out with rings that are used on the Leader tillage units and ring harrows Leader BKM-3.6 and Leader BKS-8. The study was carried out in two periods. The first period was characterized by relative soil moisture

при относительной влажности почвы 19,4% и плотности почвы 1,0 г/см³, второй – при влажности 14,0% и плотности – 1,35 г/см³. Коэффициент скольжения определяли для колец диаметром 500, 600 и 700 мм на рабочих скоростях 2; 2,8 и 3,3 м/с, угол атаки кольца устанавливали 20, 25 и 30 град. Установлены наиболее рациональные параметры колец для борон: диаметр кольца – 600 мм; угол атаки 25 град; рабочая скорость в почве с плотностью 1,0 и 1,35 г/см³ – 3,3 м/с. Для почвообрабатывающих агрегатов с катками диаметром 500 мм рекомендуется устанавливать угол атаки 20 град. Рабочая скорость в почве плотностью 1,0 г/см³ должна быть 3,3 м/с, с плотностью 1,35 г/см³ – 2,8 м/с.

Ключевые слова: почвообрабатывающий агрегат, скольжение, угол атаки, плотность почвы, влажность почвы

of 19.4% and soil density of 1.0 g/cm³, the second – by moisture content of 14.0% and density – of 1.35 g/cm³. The slip coefficient was determined for rings with a diameter of 500, 600 and 700 mm at operating speeds of 2, 2.8 and 3.3 m/s, the angle of attack of the ring was set to 20, 25 and 30 degrees. The most rational parameters of rings for harrows were established: ring diameter – at 600 mm; angle of attack – at 25 degrees; working speed in soil with density of 1.0 and 1.35 g/cm³ – 3.3 m/s. For tillage machines with rollers with a diameter of 500 mm, it is recommended to set the angle of attack of 20 degrees. The working speed in the soil with density of 1.0 g/cm³ should be 3.3 m/s, with density of 1.35 g/cm³ – 2.8 m/s.

Keywords: tillage unit, sliding, angle of attack, soil density, soil moisture content

ВВЕДЕНИЕ

Рабочие органы почвообрабатывающих машин работают в абразивной почвенной среде и подвергаются интенсивному износу, изменяют форму, размеры и геометрию режущих кромок. Эти изменения приводят к потере работоспособности машины и возникновению отказа. Часть отказов почвообрабатывающих машин связана не с выходом из строя отдельных деталей или узлов, а с ухудшением их характеристик и выходом за допустимые пределы. Изменение геометрических размеров почвообрабатывающих рабочих органов также оказывает большое влияние на тяговое сопротивление машин.

Для ландшафтных систем земледелия в Сибирском научно-исследовательском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (СиБИМЭ) СФНЦА РАН разработаны почвообрабатывающие и посевные машины с кольцевыми рабочими органами, которые обеспечивают качественную обработку поверхностного слоя почвы и очистку его от сорняков¹ [1, 2]. Однако износ рабочих органов снижает их работоспособность. На скорость износа ока-

зывают влияние такие факторы, как изменение влажности и твердости почвы, ее механический состав, скорость движения и форма рабочих органов, а также свойства материалов, из которых они изготовлены. Продолжительность работы кольцевых рабочих органов без ремонта характеризуют количеством обработанных гектаров или часов непрерывной работы. Изнашивающая способность почвы – это результат режущего или скользящего воздействия составляющих почву абразивных частиц. В основе абразивного изнашивания лежит процесс микрорезания поверхности деталей вершинами абразивных зерен [3]. Особенность износа кольцевых рабочих органов заключается в том, что кроме скольжения почвы по поверхности кольца, оно скользит по твердому необрабатываемому слою почвы. Поскольку сила давления кольца на почву значительно больше массы почвы, проходящей через кольцо, то тыльная часть кольца изнашивается гораздо быстрее, чем режущая кромка (см. рис. 1). В этом случае большую роль играет скольжение кольца катка при качении его под углом атаки по полю, что является причиной его износа.

¹Nazarov N. Yakovlev N. Ivanov N. Blynsky Y. Project designing of crop production agricultural technologies // XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry IOP Conf. Series: Earth Environmental Science. 2019.



Рис. 1. Батарея рабочих органов кольцевой боронь:

а – каток кольцевой боронь в сборе; *б* – износ тыльной стороны кольца и его деформация

Fig. 1. The battery of the working bodies of the ring harrow:

a – roller of the ring harrow assembled; *b* – wear of the back side of the ring and its deformation

Цель работы – определить технические и технологические параметры кольца катка, при которых его износ является минимальным.

Задачи исследования – теоретически определить зависимость скорости скольжения кольца катка от его технических и кинематических параметров; выявить наиболее рациональные параметры кольца катка, при которых его скольжение будет минимальным.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Кольцо катка кольцевой боронь движется в почве на глубине h под углом атаки γ . Кольцо нагружено силой от массы машины G и движущей силой P_0 , которая делится на две составляющие: нормальную P_n , действующую вдоль обода кольца, и тангенсальную P_t , действующую перпендикулярно ободу кольца. Под действием силы P_t кольцо рабочей гранью воздействует на почву, разрыхляет ее и отбрасывает в сторону, противоположную углу атаки, а сила P_n вращает кольцо [4, 5]. Сила сопротивления почвы F_0 имеет две составляющие: силу F_n , препятствующую перекатыванию кольца в почве, и силу F_r , пересыпающую почву через кольцо (см. рис. 2).

Нормальную P_n и тангенсальную P_t составляющие определим, как

$$P_n = P_0 \cdot \cos \gamma, \quad P_t = P_0 \cdot \sin \gamma, \quad (1)$$

где P_0 – сила, движущая кольцо катка в почве; γ – угол атаки кольца, град.

Нормальную F_n и тангенсальную F_r составляющие силы сопротивления передвижению кольца в почве, определим как

$$F_n = F_0 \cdot \cos \gamma, \quad F_r = F_0 \cdot \sin \gamma. \quad (2)$$

Для определения смещения точек обода катящегося кольца относительно почвы будем считать, что в момент контакта тела являются отвердевшими [6, 7].

На жесткое кольцо кольцевого катка, катящегося по мягкой почве, действуют вертикальная сила от массы машины G и сила сопротивления передвижению кольца катка в почве F_n . Вектор результирующей силы F от силы сопротивления передвижению кольца в почве F_n и массы машины G проходит через точку B , лежащую на ободе кольца (см. рис. 3). Смещение точки обода кольца относительно почвы определяется скоростью скольжения.

Фактически на линии поверхности контакта кольца с почвой может происходить не скольжение, а деформация кольца. В связи с

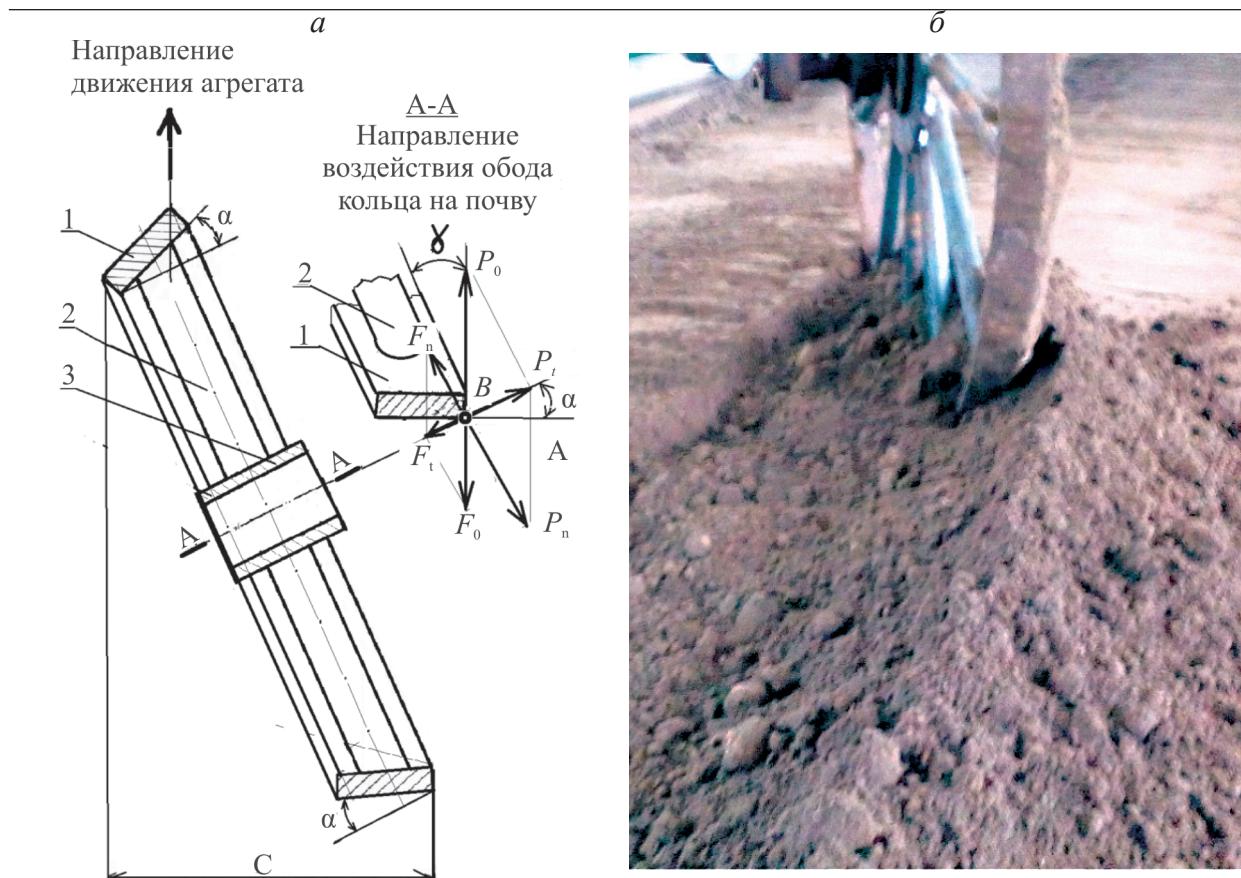


Рис. 2. Силы, действующие на рабочую грань конусного кольца:

a – схема действия сил на режущую кромку кольца; *б* – кольцо экспериментальной установки в работе

Fig. 2. Forces acting on the working face of the conical ring:

a – diagram of the action of forces on the cutting edge of the ring; *b* – the ring of the experimental unit in operation

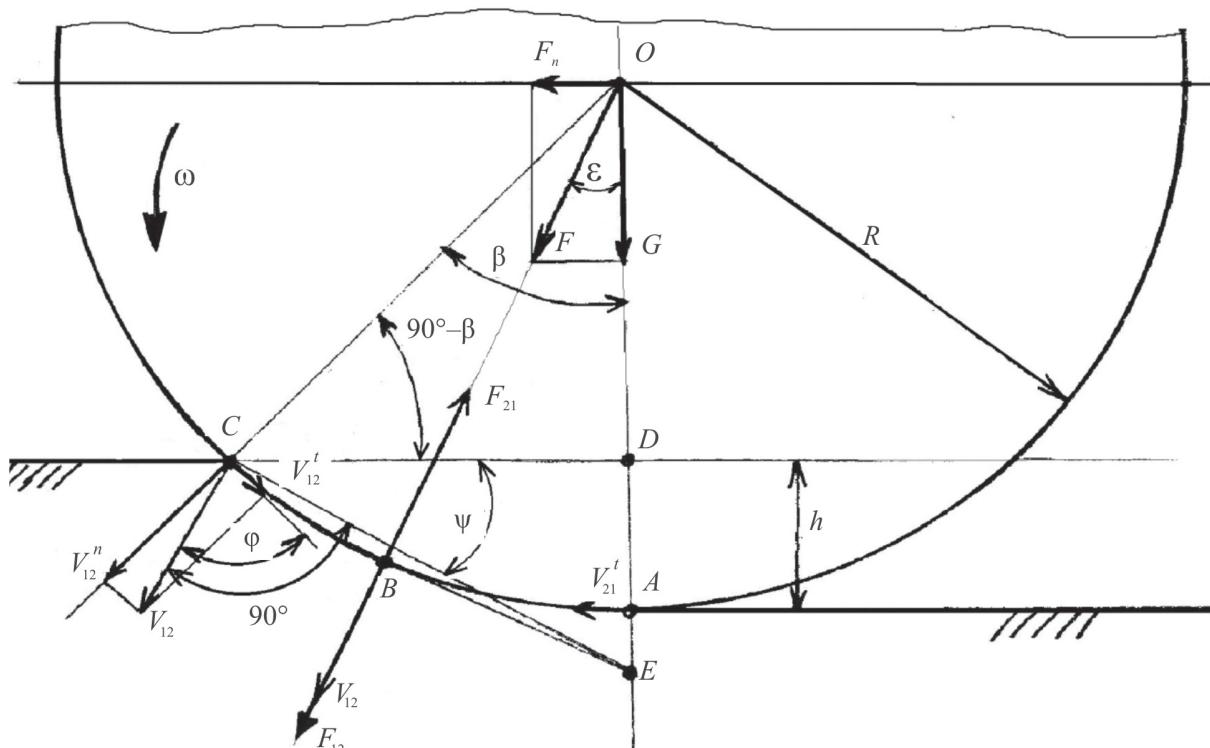


Рис. 3. Силы, действующие на конусное кольцо

Fig. 3. Forces acting on the conical ring

этим, рассматривая взаимодействие кольца с почвой, определим касательную, составляющую скоростей точек обода кольца. Величина этой составляющей влияет на износ обода как в случае скольжения, так и в случае деформации [8–10]. Полагаем, что равнодействующая P_{21} реакции основания кольца проходит через точку B и тогда равновесие системы будет при условии $F + P_{21} = 0$. Вектор V_{12} скорости точки B обода кольца совпадает с направлением вектора $F = P_{12}$. В связи с этим мгновенный центр скоростей будет находиться в точке E , на пересечении перпендикуляра к вектору скорости V_{12} в точке B с вертикалью, проходящей через центр кольца, точку O . Скорость скольжения кольца в точке C (место касания кольцом почвы) определим по формуле

$$V'_{12} = V_{12} \cdot \cos \phi, \quad (3)$$

где V'_{12} – скорость скольжения кольца в точке C , м/с; V_{12} – мгновенная скорость кольца в точке C , м/с; ϕ – угол между вектором мгновенной скорости и вектором скорости скольжения кольца. Мгновенная скорость будет равна

$$V_{12} = \omega \cdot CE = \omega \cdot \frac{CD}{\cos \psi} = \frac{\omega \cdot R \cdot \sin \beta}{\cos \psi}, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость кольца катка, рад/с; R – радиус кольца, м; β – угол входа кольца катка в почву, град; ψ – угол между поверхностью поля и перпендикуляром к вектору мгновенной скорости в точке C , град. Углы ϕ и ψ связаны между собою соотношением $\phi = \beta + \psi$.

Подставляя (4) в формулу (3), получим

$$V'_{12} = \frac{\omega \cdot R \cdot \sin \beta \cdot \cos \phi}{\cos \psi} = \omega \cdot \sqrt{h \cdot (2R - h)} \cdot \frac{\cos (\beta + \psi)}{\cos \psi}, \quad (5)$$

где R – радиус кольца, м; h – глубина обработки почвы кольцом катка, м.

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{DE}{CD} = \frac{\frac{R}{\cos \epsilon} - (R - h)}{R \cdot \sin \beta} =$$

$$\frac{\frac{R}{\cos \epsilon} - (R - h)}{\sqrt{h \cdot (2R - h)}} = \frac{R - (R - h) \cdot \cos \epsilon}{\cos \epsilon \cdot \sqrt{h \cdot (2R - h)}}. \quad (6)$$

Величина улов ψ и ϕ зависит от расположения точки E , мгновенного центра скоростей, на отрезке OE . Положение точки E определяется расстоянием OE . Расстояние OE определяет величина угла ϵ , которая зависит от силы F_n и силы от массы G , приходящегося на одно кольцо:

$$OE = \frac{R}{\cos \epsilon} = \frac{R \cdot F}{G} = \frac{R \cdot \sqrt{F_n^2 + G^2}}{G} = \frac{R \cdot \sqrt{(F_0 \cdot \cos \gamma)^2 + G^2}}{G}, \quad (7)$$

где ϵ – угол между равнодействующей F и прямой OE , $\cos \epsilon = \frac{G}{F}$.

Анализ (5) и (6) показывает, что скорость скольжения кольца V'_{12} зависит от соотношения сил G и F_n , угла атаки кольца γ , диаметра кольца катка и глубины обработки почвы кольцом, $V'_{12} = 0$ при $\beta + \psi = 90^\circ$.

Для проверки теоретических исследований проведены опыты в полевых условиях. На навеске трактора МТЗ-80 устанавливали балку, к которой крепили поводок с кольцом (см. рис. 2). Кольцо настраивали на рабочую глубину 40–50 мм, устанавливали поводок на балке под углом атаки, и трактор с установленной скоростью проезжал через зачетный участок. Для эксперимента выбраны кольца диаметром 500, 600 и 700 мм. Такие кольца используются на почвообрабатывающих агрегатах «Лидер» и кольцевых боронах «Лидер БКМ-3,6» и «Лидер БКС-8». Угол атаки также принимали в соответствии с принятыми углами на указанных агрегатах – 20, 25 и 30 град. Скорость 7, 10 и 12 км/ч устанавливали соответствующей передачей трактора и контролировали временем прохождения 10-метрового зачетного участка. На поле осуществляли видеосъемку, в лаборатории на компьютере проводили хронометраж прохождения зачетного участка. Число оборотов и пройденное расстояние кольцом катка определяли путем установки на

кольце отметчика, который оставлял на почве отметки после выполнения полного оборота кольца. По данным отметкам отсчитывали 10 оборотов и замеряли расстояние рулеткой. Скольжение колец оценивали коэффициентом скольжения μ , выражая его соотношением $\mu = (I - 2\pi n)/I = \Delta I/I$, где ΔI – путь, пройденный кольцом скольжением; n – число оборотов кольца [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования проводили на полигоне СибИМЭ СФНЦА РАН в два этапа – 14.08. и 21.09. 2018. Это обусловливалось необходимостью изучить влияние физического состояния почвы на коэффициент скольжения кольца. Так, влажность почвы 14.08.2018 на рабочей глубине кольца 40–50 мм в

слое 0–5 см составляла 19,4%, плотность – 1,0 г/см³, 21.09.2020 – 14,0% и 1,35 г/см³ соответственно (см. таблицу).

Анализ результатов исследования показал, что влажность и плотность почвы оказывали влияние на коэффициент скольжения, но определенной закономерности выявить не удалось. У кольца диаметром 500 мм при установленном угле атаки 20 град. коэффициент скольжения на мягкой почве плотностью 1,0 г/см³ с увеличением рабочей скорости уменьшался от 0,15 до 0,12, на твердой плотностью 1,35 г/см³ увеличивался от 0,13 до 0,15 (см. рис. 4, 5).

С увеличением угла атаки до 25 град. на скорости 2,8 м/с коэффициент скольжения на мягкой почве не изменялся, на твердой почве при скорости 3,3 м/с отмечено его снижение от 0,15 до 0,14. При дальнейшем

Влажность и плотность почвы при проведении исследований
Moisture and soil density during research

Дата	Глубина взятия образца почвы, см					
	0–5		5–10		10–15	
	Влажность, %	Плотность, г/см ³	Влажность, %	Плотность, г/см ³	Влажность, %	Плотность, г/см ³
14.08.2018	19,4	1,00	21,0	1,02	21,0	1,23
21.09.2018	14,0	1,35	18,2	1,50	18,2	1,49

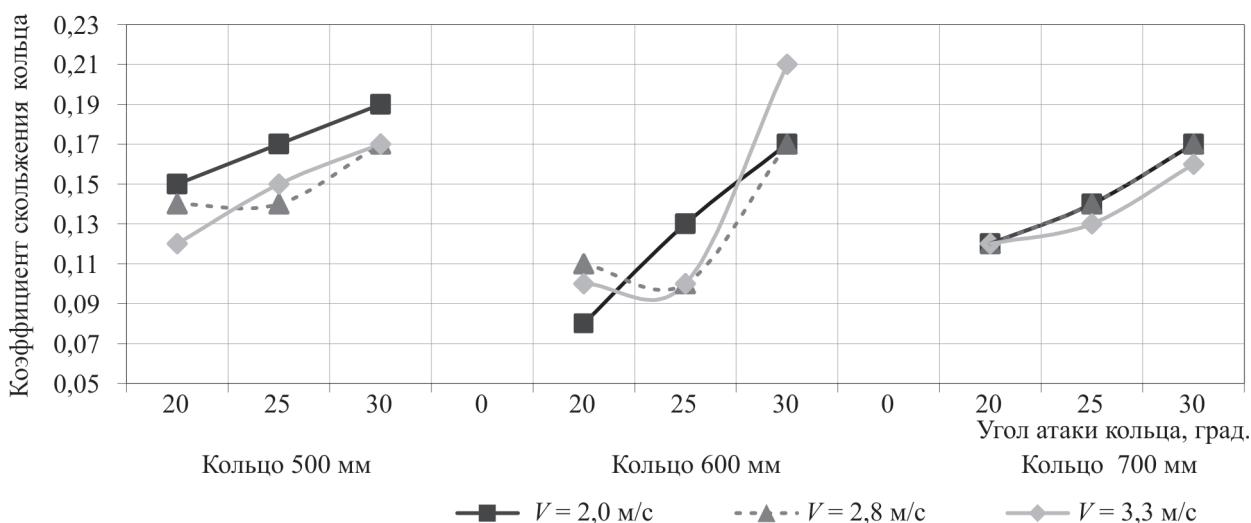


Рис. 4. Изменение коэффициента скольжения в зависимости от угла атаки (мягкая почва): относительная влажность в слое 0–5 см – 19,4%, плотность – 1,0 г/см³, в слое 5–10 см влажность – 21%, плотность – 1,02 г/см³

Fig. 4. Change in slip coefficient depending on the angle of attack (soft soil): Relative moisture in the 0–5 cm layer is 19.4%, density is 1.0 g/cm³, in the 5–10 cm layer moisture is 21%, density is 1.02 g/cm³

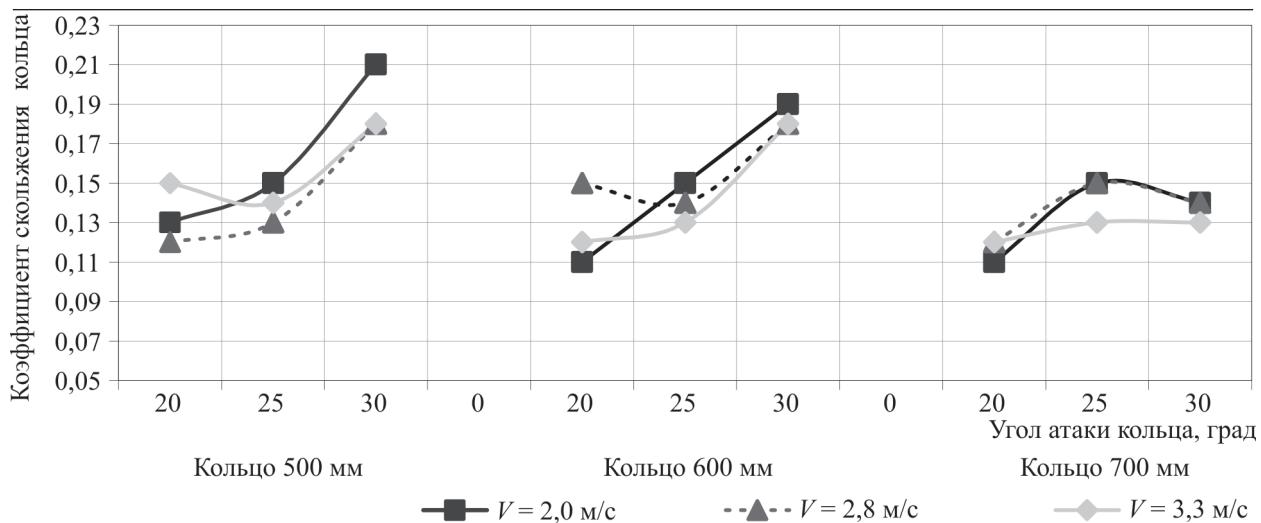


Рис. 5. Изменение коэффициента скольжения в зависимости от угла атаки (твёрдая почва): в слое 0–5 см относительная влажность почвы – 14,0%, плотность – 1,35 г/см³; в слое 5–10 см влажность – 18,2%, плотность – 1,49 г/см³

Fig. 5. Change in slip coefficient depending on the angle of attack (hard soil): in the 0-5 cm layer, the relative soil moisture is 14.0%, the density is 1.35 g/cm³; in the layer of 5-10 cm, moisture – 18.2%, density – 1.49 g/cm³

увеличении угла атаки до 30 град. коэффициент скольжения увеличивался на мягкой почве до 0,17, на твердой – до 0,18. Необходимо отметить, что в данном случае повышение рабочей скорости не влияло на изменение коэффициента скольжения как на мягкой, так и на твердой почве.

У кольца диаметром 600 мм при установке угла в 20 град. и скорости 2,0 м/с отмечен самый низкий коэффициент скольжения: на мягкой почве 0,08, на твердой – 0,11. С увеличением рабочей скорости коэффициент скольжения увеличивался на мягкой почве до 0,11, на твердой – до 0,15. Когда угол атаки составлял 25 град., рабочая скорость – 2,8 м/с, коэффициент скольжения снижался на мягкой почве до 0,1, на твердой – до 0,14. С увеличением угла атаки до 30 град. коэффициент скольжения увеличивался, на мягкой почве в интервале рабочей скорости от 2,0 до 2,8 м/с он был 0,17. С повышением рабочей скорости до 3,3 м/с коэффициент скольжения возрастал до 0,21. На твердой почве в интервале скорости до 2,8 до 3,3 м/с коэффициент скольжения составил 0,18 и далее не изменился (см. рис. 4, 5).

Скольжение в почве кольца диаметром 700 мм несколько отличалось. Когда угол

атаки равен 20 град., коэффициент скольжения при увеличении скорости не изменялся и оставался на уровне 0,12, причем, это характерно как для мягкой, так и для твердой почвы. При увеличении угла атаки до 25 град. коэффициент скольжения увеличивался от 0,12 до 0,14 на мягкой почве, до 0,15 на твердой. При рабочей скорости 3,3 м/с коэффициент скольжения составлял 0,13 как на мягкой, так и на твердой почве. С увеличением угла атаки до 30 град. на мягкой почве коэффициент скольжения увеличивался до 0,16 при рабочей скорости 3,3 м/с и до 0,17 при скорости 2,0–2,8 м/с. На твердой почве происходило снижение коэффициента скольжения до 0,13 при скорости 3,3 м/с и до 0,14 при скорости 2,0–2,8 м/с.

ВЫВОДЫ

1. Определена теоретическая зависимость скорости скольжения кольца катка от его технических и кинематических параметров. Скорость скольжения V_{12}^t кольца катка зависит от угловой скорости ω кольца, диаметра кольца $2R$, глубины обработки кольцом почвы h и угла атаки кольца γ ; $V_{12}^t = 0$ при $\beta + \psi = 90^\circ$.

2. Наиболее рациональными параметрами колец для бороны являются диаметр кольца – 600 мм; угол атаки – 25 град.; рабочая скорость по почве с плотностью 1,0 и 1,35 г/см³ – 3,3 м/с. Для агрегатов типа «Лидер» с катками диаметром 500 мм рекомендуются угол атаки 20 град., рабочая скорость по почве с плотностью 1,0 г/см³ – 3,3 м/с, с плотностью 1,35 г/см³ – 2,8 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Н.М., Чепурин Г.Е. Научно-техническое обеспечение аграрного комплекса Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 5. С. 93–101.
2. Докин Б.Д. Эффективное использование сельскохозяйственной техники при производстве зерна в Сибири // Техника и оборудование для села. 2009. № 8. С. 7–10.
3. Бартенев И.М., Поздняков Е.В. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин // Лесотехнический журнал. 2013. № 3. С. 114–123.
4. Яковлев Н.С., Колинко П.В. Взаимодействие кольцевого катка с почвой // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2012. № 5–6. С. 95–100.
5. Яковлев Н.С. Колинко П.В. Перемещение почвы кольцом кольчатого катка // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 2. С. 30–33.
6. Бородянский В.П. Скольжение колеса при качении // Известия вузов. Пищевая технология. 2007. № 1. С. 78–81.
7. Яковлев Н.С., Назаров Н.Н., Нестяк В.С., Маркин В.В., Черных В.И. Оценка качества работы бороны с кольцевыми рабочими органами // Вестник Алтайского ГАУ. 2017. № 12. С. 141–147.
8. Гайфуллин Г.З., Лежнёв Ю.Ф., Курач А.А. Обеспечение заглубляющей способности ротационных рабочих органов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 12. С. 30–31.
9. Лежнёв Ю.Ф., Курач А.А., Семибала-мут А.В. Показатели работы кольцевых рабочих органов // Земледелие. 2006. № 10 (32). С. 20–22.
10. Путрин А.С., Терехов О.Н., Циклер В.В., Утенков Г.Л. Основные характеристики движения почвенных частиц по криволинейной поверхности рабочего органа // Известия Оренбургского ГАУ. 2008. № 1 (17). С. 93–98.

REFERENCES

1. Ivanov N.M., Chepurin G.E. Nauchno-tehnicheskoe obespechenie agrarnogo kompleksa Sibiri [Scientific and engineering support for agribusiness industry in Siberia]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2014, no. 5, pp. 93–101. (In Russian).
2. Dokin B.D. Effektivnoe ispol'zovanie sel'skokhozyaistvennoi tekhniki pri proizvodstve zerna v Sibiri [Effective use of agricultural machinery in grain production in Siberia]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [The Machinery and Equipment for Rural Area], 2009, no. 8, pp. 7–10. (In Russian).
3. Bartenev I.M., Pozdnyakov E.V. Iznashivayushchaya sposobnost' pochv i ee vliyanie na dolgovechnost' rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Wearing ability of soils and its effect on the durability of the working bodies of tillage machines]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2013, no. 3, pp. 114–123. (In Russian).
4. Yakovlev N.S., Kolinko P.V. Vzaimodeistvie kol'tsevogo katka s pochvoi [Ring-soil interaction in ring roller]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2012, no. 5–6, pp. 95–100. (In Russian).
5. Yakovlev N.S. Kolinko P.V. Peremeshchenie pochvy kol'tsom kol'chatogo katka [Soil movement by the ring of the ribbed roller]. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machinery and technologies], 2013, no. 2, pp. 30–33. (In Russian).
6. Borodyanskii V.P. Skol'zhenie kolesa pri kachenii [Wheel slip during rolling]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Institutes of Higher Education. Food Technology], 2007, no. 1, pp. 78–81. (In Russian).
7. Yakovlev N.S., Nazarov N.N., Nestyak V.S., Markin V.V., Chernykh V.I. Otsenka kachestva raboty borony s kol'tsevymi rabochimi organami [Evaluation of operating quality of harrow with ring working bodies]. *Vestnik Altaiskogo GAU* [Bulletin of Altai State Agricultural University]. 2017, no. 12, pp. 141–147. (In Russian).

8. Gaifullin G.Z., Lezhnev Yu.F., Kurach A.A. Obespechenie zaglublyayushchei sposobnosti rotatsionnykh rabochikh organov [Ensuring the deepening ability of rotary working bodies]. *Traktory i sel'skokhozyaistvennye mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 2004, no. 12, pp. 30–31. (In Russian).
9. Lezhnev Yu.F., Kurach A.A., Semibalamut A.V. Pokazateli raboty kol'tsevykh rabochikh organov [Performance indicators of ring working
- bodies]. *Zemledelie* [Zemledelie], 2006, no. 10 (32), pp. 20–22. (In Russian).
10. Putrin A.S., Terekhov O.N., Tsikler V.V., Utenkov G.L. Osnovnye kharakteristiki dvizheniya pochvennykh chashits po krivolineinoi poverkhnosti rabochego organa [Basic characteristics of soil articles movement along the curvilinear surface of the working organ]. *Izvestiya Orenburgskogo GAU* [Izvestiya of Orenburg State Agrarian University], 2008, no. 1 (17), pp. 93–98. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ О АВТОРАХ

(✉) **Яковлев Н.С.**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснобак; СФНЦА РАН, а/я 463; e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

Назаров Н.Н., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

Рассомахин Г.К., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией

Маркин В.В., старший научный сотрудник

Лапшин И.П., доктор технических наук, профессор

AUTHOR INFORMATION

(✉) **Yakovlev N.S.**, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher, Laboratory Head, **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia, e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

Nazarov N.N., Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher, e-mail: sibime-nazarov@yandex.ru

Rassomakhin G.K., Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher

Markin V.V., Senior Researcher,

Lapshin I.P., Doctor of Science in Engineering, Professor

Дата поступления статьи 18.11.2019
Received by the editors 18.11.2019