



УДК 631.171:631.51

Н.С. ЯКОВЛЕВ, доктор технических наук, заведующий лабораторией,
А.П. ЦЕГЕЛЬНИК, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
В.И. ЧЕРНЫХ, инженер-исследователь

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск
e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЛАП ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Определены закономерности изменения фракционного состава почвы, ширины следа и профиля борозды, оставленной лапами посевных агрегатов, в зависимости от их ширины, рабочей скорости агрегата и влажности почвы. Представлена математическая модель, которая позволяет определить ширину следа, оставленного на почве после прохода культиваторной лапы. Эксперименты с лапами размером 260, 370 и 410 мм по проверке математической модели проводили в почвенном канале. Для среднего значения ширины следа определены доверительные интервалы на 5%-м уровне значимости. Расчетные значения ширины следа отличаются от фактического не более чем на 4,4 %. Модель адекватно описывает работу лапы в пределах рабочих скоростей машины от 4 до 8 км/ч (1,11–2,22 м/с). На ширину следа влияет налипшая на лапу почва. При этом образуется почвенный клин, который формирует углы наклона рабочей поверхности лапы. При достижении критических углов наклона в 30–35 град. лапа начинает толкать почву, и след от лапы становится более глубоким. При плотности почвы 0,98–1,1 г/см³ и средней влажности 13,7 % лапа размером 260 мм оставляет более глубокую борозду, чем лапы размером 370 и 410 мм. Большое влияние на фракционный состав почвы по следу лапы оказывает влажность почвы. С увеличением ее при обработке лапами количество почвенных агрегатов крупнее 50 мм уменьшается, а количество почвенных агрегатов менее 10 мм не увеличивается.

Ключевые слова: почва, посевной агрегат, налипание почвы, почвенный клин, борозда.

Особое внимание при обработке почвы и посеве зерновых культур универсальными культиваторными лапами уделяется выравниванию поверхности поля. Для выравнивания поля и заделки семян культиваторы и посевные машины оборудуют катками различных типов. Катки выполняют несколько операций: прикатывают почву под слоем мульчи, выравнивают поверхность поля и вычесывают сорняки. Однако не всегда поверхность поля после обработки и посева такими машинами удовлетворяет агротехническим требованиям [1–4]. Считается, что чем шире универсальная культиваторная лапа, тем глубже борозды и крупнее почвенные агрегаты. В связи с этим на поверхности поля образуются гребни и борозды, которые снижают качество обработки почвы и посевов. Часть претензий, поступающих из хозяйств, связана именно с неровной поверхностью поля после посева, которая заключается в наличии не засыпанных катками следов заднего ряда лап, гребней и крупных почвенных агрегатов [5–9].

Цель работы – определить закономерности изменения фракционного состава почвы, ширины следа и профиля борозды, оставленной лапами, в зависимости от их ширины, рабочей скорости агрегата и влажности почвы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования были приняты универсальные культиваторные лапы размером 260, 370 и 410 мм. Лапы 260 мм применяют на посевных агрегатах «Селфорд» и «Джон Дир 730», 370 мм – «Кузбасс» и «Агратор», 410 мм – на посевных машинах «Обь-4-ЗТ». Все лапы, несмотря на различия по ширине, имеют равные углы наклона рабочих поверхностей (рис. 1). Применяются как при обработке почвы, так и при посеве зерновых культур на глубине 50–60 мм.

Основной проблемой при применении таких лап на малой глубине является налипание почвы на лапу, которая изменяет ее конфигурацию и увеличивает сопротивление движению агрегата. Часть отрезанной лапой почвы перетекает через ее крылья и укладывается на дно борозды, а перед стойкой почва прилипает к лапе и начинает передвигаться вместе с ней, увеличивая силу сопротивления. При достижении давления, превышающего ее внутреннее сопротивление, почва начинает сходить с лапы. При этом на стойке образуется клин из налипшей почвы, основание которого равно ширине стойки, а угол при вершине равен 2θ (рис. 2). Почвенный клин также образуется на лапе, толщина его увеличивается от середины лапы к стойке и достигает 20–30 мм. Этим клином определяется направление схода почвы с лапы, которое можно описать векторным уравнением $\vec{V}_\Pi = \vec{V}_В + \vec{V}_Г$, где $\vec{V}_В$ – вектор скорости почвы при подъеме клином лапы; $\vec{V}_Г$ – вектор горизонтальной составляющей скорости передвинутый клином лапы в сторону.

Налипание почвы на лапу наблюдают на всех типах черноземных почв, даже при влажности 12 %. С образованием почвенного клина почва скользит не по металлу лапы, а по налипшей почве, в результате чего увеличивается сопротивление агрегата.



Рис. 1. Лапы посевных машин «Кузбасс», «Селфорд», «Обь-4-ЗТ»



Рис. 2. Лапа посевного комплекса «Кузбасс» с налипшей почвой

Для изучения влияния налипшей на лапу почвы на процесс образования борозды нами разработана математическая модель, которая позволяет моделировать характер разброса почвы и процесс образования борозды. В соответствии с этим рабочую поверхность лапы можно характеризовать углом θ наклона почвенного клина к поверхности борозды и углом боковой поверхности почвенного клина π [10].

В общем виде модель представлена формулой

$$L = S + B + 2 h \cdot \operatorname{tg} Q + 4 V_B \cdot V_{\Gamma} / g, \quad (1)$$

где L – ширина следа из рыхлой почвы, м; S – ширина лапы, м; B – ширина хвостовика лапы, м; h – глубина обработки почвы, м; Q – угол скалывания почвы, $Q = 40-50$ град.; V_B – вертикальная составляющая скорости почвы, поднятой клином; V_{Γ} – горизонтальная составляющая скорости почвы, передвинутой клином; g – ускорение свободного падения, м/с².

Вертикальная составляющая скорости V_B почвы, поднятой клином, равна

$$V_B = V_M \sin \theta \cos \theta - f \sin \theta, \quad (2)$$

где V_M – скорость передвижения машины по полю, м/с; θ – угол наклона поверхности почвенного клина, град; f – коэффициент трения скольжения почвы по поверхности клина.

Горизонтальная составляющая скорости V_{Γ} почвы, передвинутой клином, равна

$$V_{\Gamma} = V_M \sin \pi \cos \pi - f \sin \pi, \quad (3)$$

где π – угол боковой поверхности почвенного клина, град.

Модель проверена на адекватность и позволяет рассчитать теоретическую ширину следа на поверхности поля в зависимости от размера лапы, формы налипшей на лапу почвы и скорости движения машины.

Эксперимент проводили в почвенном канале. Предполагалось выявление крошения почвы, размер ширины следа, оставленного лапой, и профиля борозды. Почва в канале – выщелоченный чернозем, по механическому составу – среднесуглинистая.

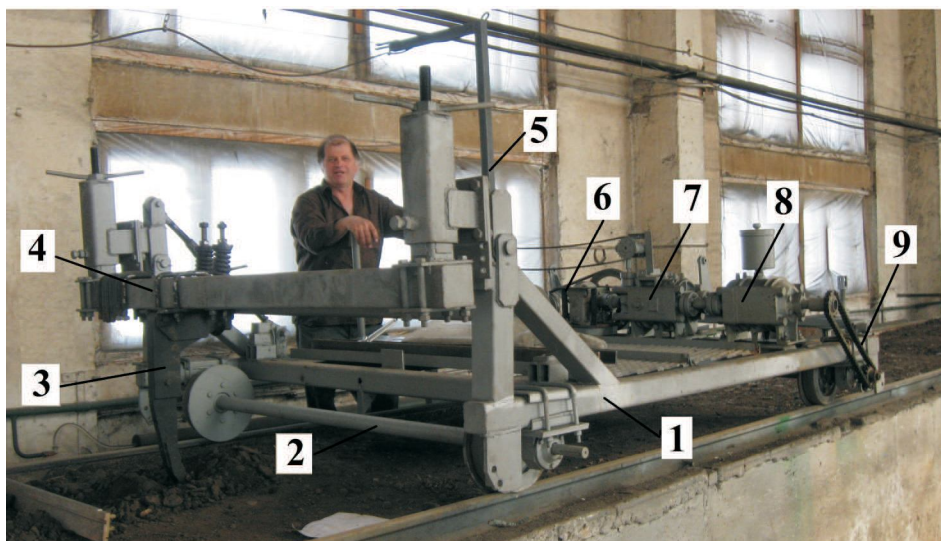


Рис. 3. Тяговая тележка для испытания рабочих органов:

1 – рама тяговой тележки; 2 – ось тележки; 3 – стойка с лапой; 4 – брус навески; 5 – троллей; 6 – электродвигатель; 7 – регулятор скорости; 8 – редуктор; 9 – цепная передача привода

На регулируемом брус тяговой тележки устанавливали стойку с лапой нужного размера (рис. 3). В эксперименте использовали три скорости обработки почвы – 1,11; 1,37 и 2,22 м/с. Скорость тяговой тележки замеряли секундомером по прохождении контрольных точек 10-метрового участка.

Для замера профиля над следом машины на высоте 70 мм от нетронутой поверхности канала натягивали леску, которую размечали на отрезки по 2 см. Против каждой отметки проводили линейкой измерения – по одному следу на трех участках. Результаты измерения записывали в полевой журнал, после расшифровки записей с помощью программы Microsoft Excel строили графики (рис. 4).

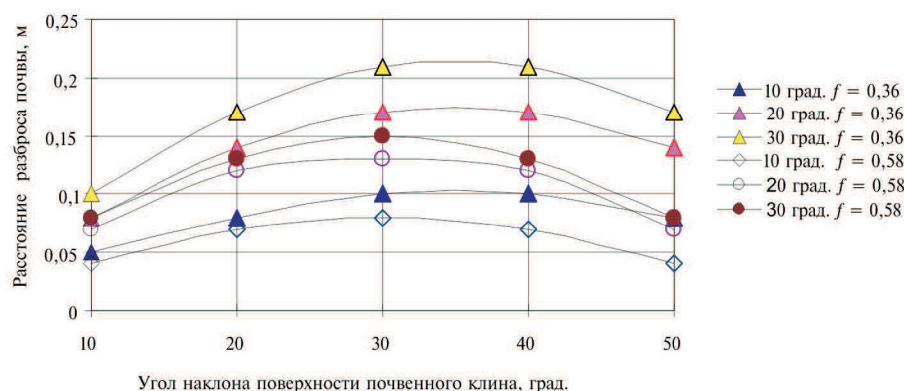


Рис. 4. Изменение расстояния разброса почвы лапой при скорости движения машины $V_M = 3$ м/с в зависимости от угла наклона поверхности почвенного клина θ и угла бокового перемещения почвы φ

Агрегатный состав почвы определяли отбором двух проб массой не менее 2,5 кг с площади 0,25 м² не раньше, чем через 1 ч после прохода лапы. Механический состав почвы определяли влажным методом, влажность почвы – по стандартной методике с трехкратной повторностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проверка модели проведена сравнением теоретически полученных результатов с результатами эксперимента. Угол клина, образованного налипшей на лапу почвой, φ , $\tan \varphi$, угол боковой поверхности клина π , $\tan \pi$ угол трения почвы по клину $\vartheta = 20^\circ$, коэффициент трения $f = 0,36$. Лапы были установлены на жесткой подпружиненной стойке.

Результаты показывают, что с увеличением скорости машины ширина следа также увеличивается, при этом расчетные и экспериментальные данные совпадают. Проверка модели на адекватность проведена по критерию Стьюдента [10]. Для среднего значения ширины борозды доверительные интервалы на 5%-м уровне значимости представлены в табл. 1. Учитывая то, что расчетные значения ширины следа отличаются от фактического не более чем на 4,4 %, а некоторые значения попадают в доверительный интервал, можно сказать, что модель адекватно описывает работу лапы в пределах рабочих скоростей машины от 4 до 8 км/ч (1,11–2,22 м/с). Ранее были проведены исследования по проверке модели на адекватность при работе машины «Обь-4-ЗТ» с лапой 410 мм на рабочих скоростях от 2 до 4 м/с, которые также подтвердили адекватность модели [10, 11].

Исследования на модели показали, что при $\pi = 10^\circ$ и коэффициенте трения $f = 0,36$ с увеличением угла наклона поверхности почвенного клина расстояние разброса почвы увеличивается и достигает максимального значения при 35° . (см. рис. 4). При дальнейшем увеличении угла широта разброса почвы снижается. Это объясняется тем, что при малых углах π (до 35°) сила сопротивления почвы превышает силу трения почвы о лапу, основная масса почвы перетекает по крыльям лапы, при этом боковой поверхностью клина смещается в сторону на край борозды.

При налипании почвы на лапу увеличиваются размеры почвенного клина, соответственно увеличиваются углы π и φ . При увеличении угла π более чем 35° вектор переносной скорости $\bar{V}_\Pi$ почвы приближается по значению и направлению к вектору скорости машины $\bar{V}_M$, вектор скорости уменьшается и сокращается расстояние ее разброса. С увеличением коэффициента трения f от 0,36 до 0,58 разброс почвы уменьшается.

Таблица 1

Ширина следа лапы в зависимости от ее размера и скорости движения агрегата, см

Размер лапы, мм	Влажность почвы, %	Ширина следа при рабочей скорости, м/с (км/ч)					
		1,11 (4)		1,37 (5)		2,22 (8)	
		фактическая	расчетная	фактическая	расчетная	фактическая	расчетная
260	16,1	52,7 ± 1,4	50,0	56,5 ± 1,8	53,0	67,4 ± 0,9	67,0
370	13,9	62,2 ± 1,4	60,0	61,7 ± 2,4	63,0	72,2 ± 1,1	74,0
410	13,9	63,9 ± 2,1	64,0	68,2 ± 0,6	67,0	76,3 ± 0,8	78,0

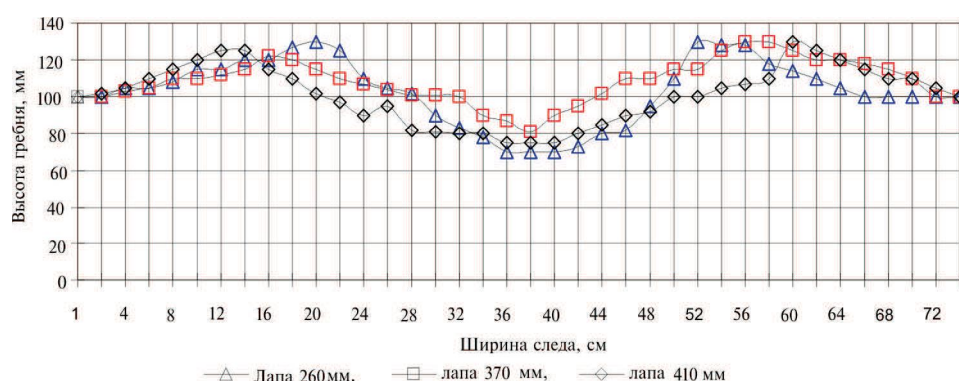


Рис. 5. Профиль борозды, оставленный лапами:
 $V = 2,22$ м/с; $h = 10$ см

Разброс почвы лапой определяет форму профиля борозды, оставленной лапой (рис. 5). Исследования по определению профиля борозды проводили в почвенном канале с почвой, почвенные агрегаты которой не превышали 10 мм, при плотности 0,98–1,1 г/см³ и средней влажности 13,7 %.

Результаты показывают, что лапа меньшего размера (260 мм) оставляет более глубокую борозду, чем лапы 370 и 410 мм. Объясняется это тем, что почва на лапе становится подвижной и смещается дальше от центра борозды. Чем больше размер лапы, тем более пологий гребень. Соответственно ширина борозды соответствует размеру лапы с учетом перемещения почвы под действием приобретенной скорости. С увеличением скорости агрегата ширина борозды увеличивается, а высота гребней становится меньше.

Фракционный состав определяли при плотности почвы 1,20–1,38 г/см³, влажность ее при этом составляла от 10,2 до 15,4 %, твердость – 133,75 н/см². С уменьшением влажности почвы при обработке лапой образуются довольно крупные почвенные агрегаты (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что фракционный состав почвы не зависит от размера лапы. Большое влияние на данный показатель оказывает влажность почвы. Так, с увеличением ее от 12,2 до 15,4 % при обработке лапой размером 260 мм количество почвенных агрегатов крупнее 50 мм уменьшалось от 10,11 до 4,30 %. Такая же картина наблюдалась и с лапами других

Таблица 2

Фракционный состав почвы по следу лапы

Размер лапы, мм	Содержание почвенных фракций, %						Влажность, %	Скорость, м/с
	> 50	> 30	> 25	> 20	> 10	< 10		
260	4,30	11,00	8,30	1,50	22,50	52,40	15,4	2,22
260	10,11	16,84	6,73	2,55	12,42	51,35	12,2	1,11
370	8,50	25,50	5,90	1,60	10,70	47,60	15,4	2,22
370	23,29	7,52	3,62	2,32	12,65	60,60	14,0	1,11
410	1,78	12,77	4,65	2,24	18,33	60,23	16,8	1,11
410	19,23	5,56	1,18	0,67	8,02	65,30	10,2	1,11

размеров. Однако количество почвенных агрегатов менее 10 мм не увеличивалось, происходило увеличение почвенных агрегатов размером меньше 50 и крупнее 25 мм.

ВЫВОДЫ

1. Представлена математическая модель, которая позволяет определить ширину следа, оставленного после прохода культиваторной лапы. Для среднего значения ширины следа определены доверительные интервалы на 5%-м уровне значимости. Расчетные значения ширины следа отличаются от фактического не более чем на 4,4 %. Модель адекватно описывает работу лапы в пределах рабочих скоростей машины от 4 до 8 км/ч (1,11–2,22 м/с).

2. При налипании почвы на лапу образуется почвенный клин, который определяет углы наклона рабочей поверхности лапы. При достижении критических углов наклона почвенного клина в 30–35 град. лапа начинает толкать почву и след от лапы становится более глубоким.

3. При плотности почвы 0,98–1,1 г/см³ и средней влажности 13,7 % лапа размером 260 мм оставляет более глубокую борозду, чем лапы 370 и 410 мм.

4. Большое влияние на фракционный состав почвы по следу лапы оказывает влажность почвы. С увеличением ее при обработке лапами количество почвенных агрегатов крупнее 50 мм уменьшается, количество агрегатов крупнее 25 мм повышается, менее 10 мм – не увеличивается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Докин Б.Д., Елкин О.В., Лапченко Е.А., Исаков С.П. Технологическая и техническая политика модернизации растениеводства Сибири // С.-х. машины и технологии. – 2014. – № 4. – С. 38–42.
2. Иванов Н.М., Чепурин Г.Е. Научно-техническое обеспечение аграрного комплекса Сибири // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2014. – № 5. – С. 93–101.
3. Яковлев Н.С., Докин Б.Д. Размерный ряд культиваторов для обработки почвы под зерновые культуры // Вестн. Алтайского ГАУ. – 2012. – № 6. – С. 99–102.
4. Назаров Н.Н. Совершенствование широкополосного способа посева зерновых культур // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2004. – № 2. – С. 136–138.
5. Милаев П.П. Системный биоэнергетический анализ процессов производства продукции земледелия: метод. реком. – Новосибирск, 2005. – 80 с.
6. Чепурин Г.Е. Основные термины и определения, используемые в исследованиях по механизации производства сельскохозяйственной продукции. – Новосибирск, 2014. – 170 с.
7. Криков А.М., Немцев А.Е., Коротких В.В. Разработка показателей оценки региональной системы обеспечения работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники АПК // Труды ГОСНИТИ. – М., 2011. – Т. 109, ч. 1. – С. 90–93.
8. Нестяк В.С., Мамбеталин К.Т. Механико-технологические аспекты энергетики обработки почвы // Вестн. Алтайского ГАУ. – 2011. – № 11 (85). – С. 106–110.
9. Нестяк В.С., Мамбеталин К.Т. Обработка почвы при прямом посеве // Вестн. Алтайского ГАУ. – 2011. – № 6. – С. 99–103.
10. Яковлев Н.С. Исследование влияния параметров культиваторных лап и скорости движения машины на процесс разброса почвы // С.-х. машины и технологии. – 2011. – № 3. – С. 30.
11. Яковлев Н.С. Исследования влияния стойки лапового сошника посевной машины «Обь-4-3Т» на формирование профиля борозды // Вестн. Бурятской ГСХА. – 2011. – № 2. – С. 53–57.

Поступила в редакцию 25.05.2016

**N.S. YAKOVLEV, Doctor of Science in Engineering, Laboratory Head,
A.P. TSEGELNIK, Candidate of Science in Engineering, Lead Researcher,
V.I. CHERNYKH, Research Engineer**

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies,
Russian Academy of Sciences*

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: yakovlev-46@inbox.ru

EFFECT OF SEEDER BLADE SIZE ON TILLAGE QUALITY

There were found the patterns of changing soil fraction structure as well as width of track and furrow profile left by blades of seeder units depending on their width, operating speed of a unit and soil moisture. A mathematical model is given to determine the width of track left by the hoe blade on soil. The mathematical model was verified by experiments with blades of 260, 370 and 410 mm wide carried out at the Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. There were determined confidence intervals at 5% significance level for the average value of track width. Calculated values of track widths are different from actual ones by no more than 4.4%. The model adequately describes the operation of the blade within operating speeds of the unit from 4 to 8 km/h (1.11–2.22 m/c). The width of track is influenced by soil adhered to the blade. With that, a soil wedge, which shapes the inclination of the blade working surface, is formed. When it reaches the critical values of 30–35°, the blade begins pushing soil, and the track from it is getting deeper. With soil density of 0.98–1.1 g/cm³ and average moisture of 13.7%, the 260 mm blade leaves a deeper furrow than the 370 and 410 mm blades do. Soil moisture significantly influences the fraction structure of soil in the track. With increasing moisture, the amount of soil aggregates larger than 50 mm decreases, and the amount of soil aggregates lesser than 10 mm does not increase.

Keywords: soil, seeder unit, soil adhesion, soil wedge, furrow.

УДК 631.171:633.1

**В.В. ТИХОНОВСКИЙ, кандидат технических наук, доцент,
Ю.Н. БЛЫНСКИЙ, доктор технических наук, профессор,
Ю.А. ГУСЬКОВ, доктор технических наук, заведующий кафедрой**

Новосибирский государственный аграрный университет

630039, Россия, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

e-mail: vitalad@ya.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАШИН НА УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ В СИБИРИ

Определены пути повышения производительности уборочно-транспортной системы на уборке зерновых культур за счет применения средств позиционирования и мониторинга машин на поле. Исследования проведены в условиях лесостепной зоны Западной Сибири с 2007 по 2015 г. на протяжении девяти уборочных периодов. Урожайность зерновых составляла до 3,5 т/га, расстояние перевозок до 25 км. С учетом особенностей уборочно-транспортной системы, связанных с удаленностью полей от пунктов послеуборочной обработки зерна, временем на загрузку и разгрузку представлено выражение определения времени цикла транспортных средств для конкретных технологических схем с применением средств позиционирования и мониторинга. Установлено, что применение систем позиционирования и мониторинга технических средств при выполнении уборочно-транспортных операций позволяет сократить