

УДК 631.331.024.3

*В. Р. ПЕТРОВЕЦ, С. В. АВСЮКЕВИЧ, Н. И. ДУДКО*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ДВУХДИСКОВОГО СОШНИКА С УСЕЧЕННО-КОНУСНЫМИ  
РЕБОРДАМИ-БОРОЗДООБРАЗОВАТЕЛЯМИ**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Беларусь,  
e-mail: petrovec\_vr@mail.ru*

На основании аналитических исследований разработана конструктивно-технологическая схема двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков и усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями. Наличие реборд-бороздообразователей позволяет формировать бороздки с повышенной площадью уплотнения почвы под семенами и боковой поверхности. По сравнению с серийными дисковыми сошниками они обеспечивают быстрее набухание семян и их полевую всхожесть. В статье определены зависимости глубины образования бороздок и глубины укладки семян, а также разности между глубиной бороздок и семенами в зависимости от скорости движения сошников и давления прижатия их к почве.

*Ключевые слова:* двухдисковый сошник с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями, конструктивно-технологическая схема, бороздки, скорость движения, давление прижатия.

*V. R. PETROVETS, S. V. AVSYUKEVICH, N. I. DUDKO*

**ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF AN EXPERIMENTAL TWO-DISK PLOUGHSHARE  
WITH TRUNCATE CONICAL FURROW FORMING LEDGES**

*Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Belarus, e-mail: petrovec\_vr@mail.ru*

On the basis of the analytical research the constructive-technological scheme of a two-disc ploughshare with a zero angle of slope and truncate conical furrow forming ledges has been developed. Furrow forming ledges allow making furrows with an increased area of soil compaction under seeds and side surface. In comparison with serial disc ploughshares they ensure a quicker soaking of seeds and their field germination ability. The article determines the dependence of the depth of furrow formation and the depth of seed placement, and also the difference between the depth of furrows and seeds depending on the speed of ploughshares movement and their pressure on soil.

*Keywords:* two-disk ploughshare with truncate conical furrow forming ledges, constructive-technological scheme, furrows, speed of movement, pressure.

В машинах для посева зерновых культур важнейшим рабочим органом является сошник, который формирует бороздку, создает плотное ложе на глубину заделки семян для подтягивания к ним влаги. Семена должны быть равномерно закрыты мелкокомковатым слоем почвы для проникновения тепла, кислорода и влаги.

Наиболее перспективными в настоящее время являются двухдисковые сошники, которые хорошо работают на различных типах почв, в том числе засоренных растительными и пожнивными остатками [1, 9, 10]. Недостатками данных сошников является неравномерность распределения семян по глубине, захват семян вращающимися дисками с выбросом их за пределы бороздки и в верхние слои почвы, неравномерное осыпание бороздок, в связи с чем семена заделываются на разную глубину. Кроме того, дисковые сошники имеют высокую металлоемкость, а угол атаки дисков от 9 до 18° (для широкорядного и узкорядного посева – 0,15 и 0,075 м соответственно). С увеличением скорости свыше 8 км/ч резко растет отброс почвы, забрасывание соседних рядков, повышение тягового сопротивления, а также высокая гребнистость после прохода сошников [2].

Поэтому разработка новых дисковых сошников, теоретическое и экспериментальное обоснование их рациональных параметров с целью равномерного распределения и заделки семян, укладки последних на уплотненное дно бороздки, уменьшение их металлоемкости и тягового

сопротивления является актуальной задачей, решение которой позволит повысить урожайность зерновых культур.

Предлагаемая нами конструктивно-технологическая схема двухдискового сошника (рис. 1) состоит из корпуса 1 с отверстиями 2 и болтами 3, двух плоских (левого и правого) дисков 4 с внешними ребрами-бороздообразователями 5. Диски 4 расположены вертикально и параллельно один другому и направлению движения сошника с нулевым углом атаки [3, 4].

В задней части корпуса 1 закреплены оси 6, на которых установлены диски 4 с ребрами-бороздообразователями 5. На корпусе 1 закреплена пластина 7, на которой установлен семянаправитель 8, в который подаются семена 10.

Корпус 1 двухдискового сошника присоединяют к поводку сеялки. Рабочие диски 4 с усеченно-конусными ребрами-бороздообразователями 5 установлены на осях 6 с углами атаки  $0^\circ$ . Диски 4, двигаясь в почве, разрезают ее, пожнивные и растительные остатки, а затем усеченно-конусными ребрами-бороздообразователями 5 выдавливают бороздки с правой стороны правого диска 4 и с левой стороны левого диска 4. В образованные бороздки 9 укладываются семена 10, например зерновых культур, вместе со стартовой дозой фосфорных удобрений, поступающих под действием воздушного потока пневматической высевальной сеялки или за счет свободного падения при механическом высеве по семянаправителю 8.

Усеченно-конусная ребра-бороздообразователь 5 работает следующим образом. Плоская часть диска 4 разрезает почвенные и растительные остатки, почву и образует щель 11, по которой к семенам подтягивается влага. Ребра-бороздообразователь 5 ограничивает глубину заделки семян, а также при образовании бороздки уплотняет не только ее дно, но и ее боковую поверхность. Это значительно увеличивает площадь уплотненной бороздки и количество подтягиваемой влаги, последнее положительно сказывается на полевой всхожести семян зерновых культур.

Установка рабочих дисков 5 с углом атаки и крена  $0^\circ$  на двухдисковом сошнике позволяет уменьшить до минимума отброс почвы в стороны от диска. В процессе работы дисков 4 с ребрами-бороздообразователями 5 происходит одновременно образование бороздок, их уплотнение, а также ограничение глубины заделки семян при работе двухдискового сошника.

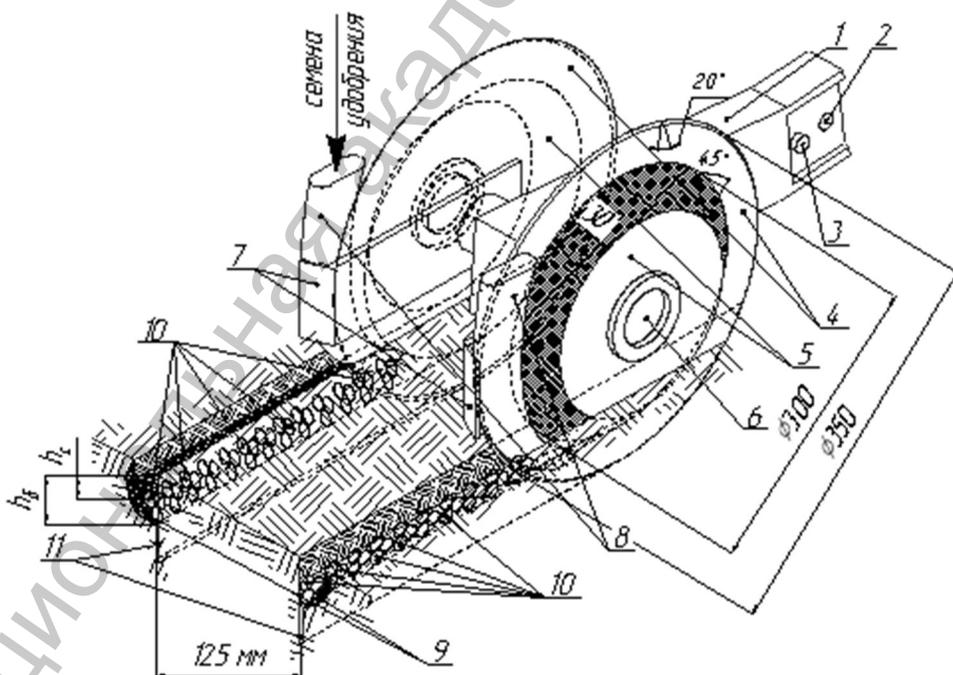


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема работы двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков и внешними усеченно-коническими ребрами-бороздообразователями: 1 – корпус; 2, 3 – отверстия с болтами для крепления к поводку сеялки; 4 – плоские диски; 5 – усеченно-конусные ребра-бороздообразователи; 6 – оси; 7 – пластина; 8 – семянаправитель; 9 – бороздка; 10 – семена и гранулы стартовой дозы фосфорных удобрений; 11 – уплотненное ложе;  $h_6$  – глубина бороздки;  $h_c$  – глубина укладки семян

Установка дисков 4 с углом атаки  $0^\circ$  позволяет работать на скоростях движения сеялок 10–15 км/ч и более, при этом значительно уменьшает разброс почвы и забрасывание соседних рядков. Это дает возможность произвести расстановку сошников в один ряд с расстоянием между рядками семян 12,5 см и менее. Щель 11, образованная диском 4 в почве, позволяет подтянуть влагу к уплотненной ребордой-бороздообразователем 5 ко дну бороздки для ускорения полевой всхожести семян. Плотность почвы на глубине заделки семян после прохода двухдискового сошника с ребордами-бороздообразователями, согласно агротехническим требованиям, должна составлять 1,20–1,25 г/см<sup>3</sup>.

Установка дисков 4 с нулевым углом атаки на двухдисковом сошнике позволяет уменьшить тяговое сопротивление сошников и улучшить равномерность глубины заделки семян при работе на повышенных скоростях, а также обеспечивает прямолинейность движения двухдисковых сошников.

Для оценки эффективности работы предлагаемого экспериментального сошника нами были проведены теоретические и экспериментальные исследования и дана их сравнительная оценка.

Обозначим  $h_6$  – глубину бороздки и  $h_c$  – глубину укладки семян. Поскольку далеко не каждое семя попадает на дно бороздки, образованной усеченно-конусной ребордой, из-за частичного осыпания почвы в бороздку и разброса семян по ширине бороздки можно сделать предположение, что  $h_c \leq h_6$ .

Величина глубины распределения семян  $h_c$  подвержена значительным случайным колебаниям. Отсюда следует, что в анализе  $h_c$  важны не только средние значения глубины, но и характеристики разброса семян по глубине: стандартное отклонение и коэффициент вариации.

Сравнение теоретических данных глубины образования бороздки  $h_6$  с опытными данными глубины укладки семян на дно бороздки  $h_c$  от скорости движения посевной машины  $v$  и давления на сошник  $G$  показывает, что эти зависимости аналогичны.

В результате поисковых исследований для предлагаемого двухдискового сошника был принят максимальный радиус реборды  $D = 300$  мм, радиус дисков  $D_1 = 350$  мм, ширина реборды  $b_p = 30$  мм, толщина диска  $b_1 = 2$  мм, угол наклона реборды  $\mu = 45^\circ$ , угол заточки лезвия диска  $\alpha = 20^\circ$ .

Для упрощения теоретических исследований было принято, что на глубину формирования бороздки  $h_6$  влияет давление  $G$  на сошник и скорость движения сошника  $v$ . Основой для получения зависимости  $h_6 = f(v, G)$  является одно из уравнение равновесия:

$$F_z = G. \quad (1)$$

Здесь  $F_z$  – симметричное вертикальное сопротивление:

$$F_z = R_z + T_z + D_z, \quad (2)$$

где  $R_z$  – составляющая по оси  $z$  сопротивления прижатия сошника к почве, Н;  $T_z$  – трение двухдискового сошника о почву, Н;  $D_z$  – составляющая динамического сопротивления сошника, Н.

Ранее нами были получены формулы этих величин для усеченно-конических реборд и плоских дисков [5]. Данные формулы получились объемными, что не позволяет аналитически решить уравнение (1). Для того чтобы построить более простые, удобные для практического пользования формулы для величин  $R_z$ ,  $T_z$ , и  $D_z$ , принимаем параметры двухдискового сошника  $R$ ,  $R_1$ ,  $\alpha$ ,  $\mu$ ,  $b_p$ ,  $b_1$  постоянными. Было учтено также, что величины  $R_z$  и  $T_z$  не зависят от скорости сошников, а только от глубины  $h_6$ , а  $D_z$  имеет множитель  $v^2$ , т. е. соотношение  $D_z / v^2$  зависит только от глубины образуемой бороздки  $h_6$ .

При определении приближенных формул для  $R_z$ ,  $T_z$  и  $D_z$  использовали метод наименьших квадратов, а так как функции были выбраны степенные типа  $h^m$ , то данные предварительно логарифмировались. Исходным материалом для расчета формул были табличные данные  $R_z(h_6)$ ,  $T_z(h_6)$  и  $D_z / v^2(h_6)$ , полученные на компьютере по ранее найденным формулам [5, 6].

Коэффициенты формул, полученные методом наименьших квадратов, были несколько округлены для упрощения. После этого были получены следующие формулы:

$$R_z = 4,96h_6^2, \text{ погрешность не более } 2\%; \quad (3)$$

$$T_z = 3,5h_6^2, \text{ погрешность не более } 5 \%; \quad (4)$$

$$D_z = 0,01h_6^2v^2, \text{ погрешность не более } 8 \%. \quad (5)$$

Путем сложения значений  $R_z$ ,  $T_z$  и  $D_z$  получаем уравнение для определения глубины образуемой бороздки  $h_6$ :

$$h_6^2(8,46 + 0,01v^2) = G. \quad (6)$$

Отсюда:

$$h_6 = \sqrt{\frac{G}{8,46 + 0,01v^2}}. \quad (7)$$

Сравнивая значения  $h_6$ , подсчитанные по формуле (7) и ранее полученного уравнения (1), убеждаемся, что различие составляет не более 3 %.

Исходными данными для получения формулы глубины  $h_c$  укладки семян на дно бороздки служили средние значения измерений для трех значений скорости движения двухдискового сошника:  $v_1 = 8$ ,  $v_2 = 12$  и  $v_3 = 16$  км/ч и трех значений давления пружины на сошник:  $G_1 = 120$  Н,  $G_2 = 160$  Н и  $G_3 = 200$  Н. Поскольку глубина укладки семян  $h_c$  сильно подвержена случайным колебаниям, лабораторно-полевые опыты проводили в 10-кратной повторности.

В табл. 1 приведены средние значения измерений глубины  $h_c$  укладки семян на дно бороздки, стандартные отклонения, коэффициенты вариации, а также нижняя и верхняя границы доверительных интервалов, %.

Формулу для глубины укладки семян  $h_c$  по аналогии с глубиной бороздки  $h_6$  определяли по уравнению:

$$h_c = \sqrt{\frac{G}{A + Bv^2}}, \quad (8)$$

где  $A$  и  $B$  – коэффициенты, которые необходимо определить.

При использовании метода наименьших квадратов сначала были рассчитаны по опытным данным таблицы значения  $G / h_c^2$  [7, 8]. По найденным значениям с помощью методов наименьших квадратов определили коэффициенты линейной  $v^2$  от зависимости  $A + Bv^2$ . По расчетным данным получена следующая формула:

$$h_c = \sqrt{\frac{G}{10,75 + 0,00687v^2}}. \quad (9)$$

Таблица 1. Результаты лабораторно-полевых опытов по глубине укладки семян в бороздки

Показатель	Скорость движения посевной машины, км/ч								
	8	12	16	8	12	16	8	12	16
	G = 120 Н			G = 160 Н			G = 200 Н		
Среднее значение глубины по лабораторно-полевому опыту, см	3,49	3,01	3,17	3,97	3,53	3,59	4,12	4,05	4,10
Стандартное отклонение, см	0,43	0,54	0,49	0,38	0,48	0,43	0,42	0,44	0,55
Коэффициент вариации, %	12,39	17,98	15,53	9,63	13,65	11,9	10,74	10,89	13,32
Нижняя граница доверительного интервала, см	3,14	2,58	2,77	3,66	3,14	3,24	3,55	3,69	3,65
Верхняя граница доверительного интервала, см	3,84	3,44	3,58	4,28	3,92	3,94	4,23	4,41	4,55
Расчетная глубина по формуле (9), см	3,29	3,21	3,09	3,80	3,70	3,57	4,25	4,14	3,99
Отношение разности глубины $h_6$ по формуле (7) и опытными данными к глубине $h_c$ по формуле (9), %	-6,04	6,19	-2,49	-4,46	4,72	-0,51	3,03	3,23	-2,68
Разность $h_6 - h_c$ по формулам (7) и (9), см	0,32	0,26	0,18	0,37	0,30	0,21	0,41	0,34	0,24

Анализ табл. 1 показывает, что стандартное отклонение по глубине укладки семян находится в пределах 0,38–0,55 см, коэффициент вариации составляет 10,74–17,98 %.

На рис. 2 приведен график зависимости глубины бороздок  $h_b$  и глубины размещения семян  $h_c$  на дно бороздки, раскрываемой двухдисковым сошником с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями при изменении скорости движения  $v$ , и усилие прижатия сошника к почве  $G$ . Из графика видно, что с увеличением скорости движения двухдискового сошника глубина бороздок  $h_b$  и глубина укладки семян  $h_c$  уменьшается. В то же время с увеличением давления на сошник глубина бороздок  $h_b$  и глубина укладки семян  $h_c$  увеличиваются.

Недостатком формул (7) и (9) является то, что они не включают характеристики почв:  $K$  – коэффициент объемного смятия,  $\rho$  – плотность почвы,  $f$  – коэффициент трения. Для устранения этого недостатка определим трение двухдискового сошника о почву  $T_z$ . Величина  $T_z$ , согласно теоретическим исследованиям, имеет следующую функциональную зависимость:

$$T_z = Kfg h_0 (R, R_1, \dots, R_n), \text{ Н.} \quad (10)$$

Для различных почв  $K$  принимает значение от  $0,08 \cdot 10^{-7}$  до  $0,013 \cdot 10^{-7}$  Н/м<sup>3</sup>. Мы приняли для наших условий  $K = 10^6$ ,  $f = 0,55$ . Следовательно, формула (10) примет следующий вид:

$$T_z = 3,5 h_0^2 / (0,55 \cdot 10^6) K f = 6,36 \cdot 10^{-6} K f h_0^2.$$

Так как плотность почвы принята  $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup>, а в  $D_z$  входит множителем  $\rho v^2$ , аналогично получаем выражение для  $R_z$  и  $D_z$ :

$$R_z = 4,96 \cdot 10^{-6} h_0^2, \text{ Н.} \quad (11)$$

$$D_z = 0,01 h_0^2 v^2 \rho / 1200 = 0,00000833 \rho h_0^2 v^2 = 8,33 \rho h_0^2 v^2 \cdot 10^{-6}.$$

Тогда  $F$  принимает следующий вид:

$$F = R_z + T_z + D_z = (4,96 + 6,36 K f + 8,33 \rho v^2) \cdot 10^{-6} \cdot h_0^2 = G.$$

Откуда получаем значение  $h_0$ :

$$h_0 = 10^3 \sqrt{\frac{G}{4,96 K + 6,36 K f + 8,33 \rho v^2}}, \text{ см.} \quad (12)$$

Поступить аналогично с формулой для  $h_c$  мы не можем, так как она строится в том числе и на данных лабораторно-полевого опыта, также не можем отдельно выделить составляющие  $R_x$  и  $T_x$ . Но динамическая составляющая видна – это  $0,00687 v^2$ . Учитывая, что принятая нами плотность почвы составляет  $1,2$  г/см<sup>3</sup>, запишем выражение в следующем виде:  $\frac{0,00687}{1200} \rho v^2$ .

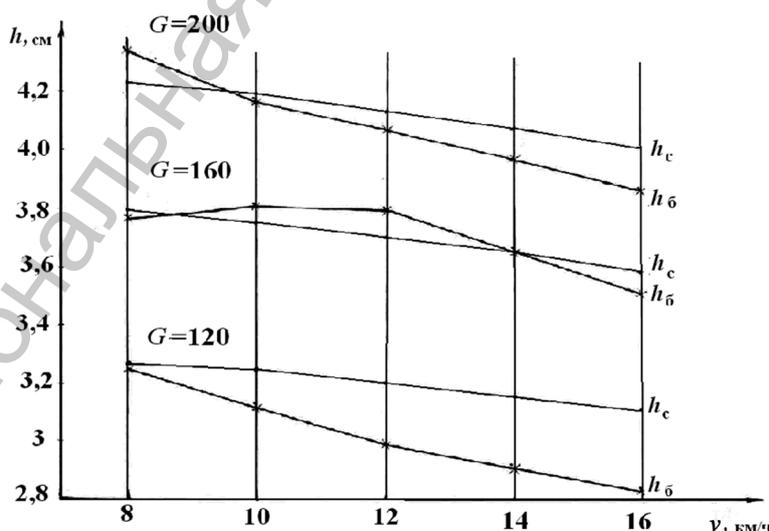


Рис. 2. График зависимости глубины укладки семян от скорости  $v$  и давления  $G$ ;  $h_b$  – глубина бороздки, формируемых сошником,  $h_c$  – глубина укладки семян

При этом приходится ограничиться коэффициентом трения  $f = 0,55$  и принять

$$h_c = \sqrt{\frac{G}{10,75K \cdot 10^{-6} + 5,7 \cdot 10^{-6} \rho v^2}} = 10^3 \sqrt{\frac{G}{10,75K + 5,7 \rho v^2}}, \text{ см.} \quad (13)$$

Тяговое сопротивление двухдискового сошника определяется как сумма горизонтальных составляющих всех видов сопротивления:

$$F = R_{xp} + R_{xd} + T_{xp} + T_{xd} + D_{xp} + D_{xd}, \quad (14)$$

где  $F$  – суммарное сопротивление двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков с внешними односторонними ребрами, Н;  $R_{xp}, R_{xd}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления реборды и плоского диска, Н;  $T_{xp}, T_{xd}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления от трения реборды и диска Н;  $D_{xp}, D_{xd}$  – горизонтальная составляющая тягового сопротивления динамичных нагрузок реборды и нагрузок диска соответственно, Н.

Определим тяговое сопротивление двухдискового сошника с внешними односторонними усеченно-конусными ребрами при его следующих изменяемых конструктивных и технологических параметрах:  $D_d$  – диаметр плоского диска, 0,3–0,35 м;  $D_p$  – диаметр реборды, 0,25–0,30 м;  $b_p$  – ширина реборды, 0,01–0,04 м;  $v$  – скорость движения экспериментального сошника, 1–5 м/с (3,6–18 км/ч);  $G$  – вертикальная нагрузка на экспериментальный сошник, 100–600 Н.

Эти конструктивные и технологические параметры были определены нами в результате предварительных исследований [2, 6], а также исходя из работоспособности макетных образцов двухдисковых сошников с плоскими дисками, установленными с нулевым углом атаки дисков и внешними односторонними, симметрично установленными ребрами-бороздообразователями.

Данные исследований экспериментального двухдискового сошника, приведенные в табл. 2, показывают, что при ширине усеченно-конусной реборды-бороздообразователя  $b_p = 0,03$  м и  $b_p = 0,04$  м с увеличением скорости  $v$  движения сошника от 1,0 до 5,0 м/с тяговое сопротивление двухдискового сошника уменьшается. Это связано с тем, что с увеличением скорости движения машинно-тракторного агрегата сошники имеют тенденцию к выглублению.

На рис. 3 приведены зависимости тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника с плоскими дисками, на которых с внешней стороны диска симметрично установлены усеченно-конусные ребры-бороздообразователи.

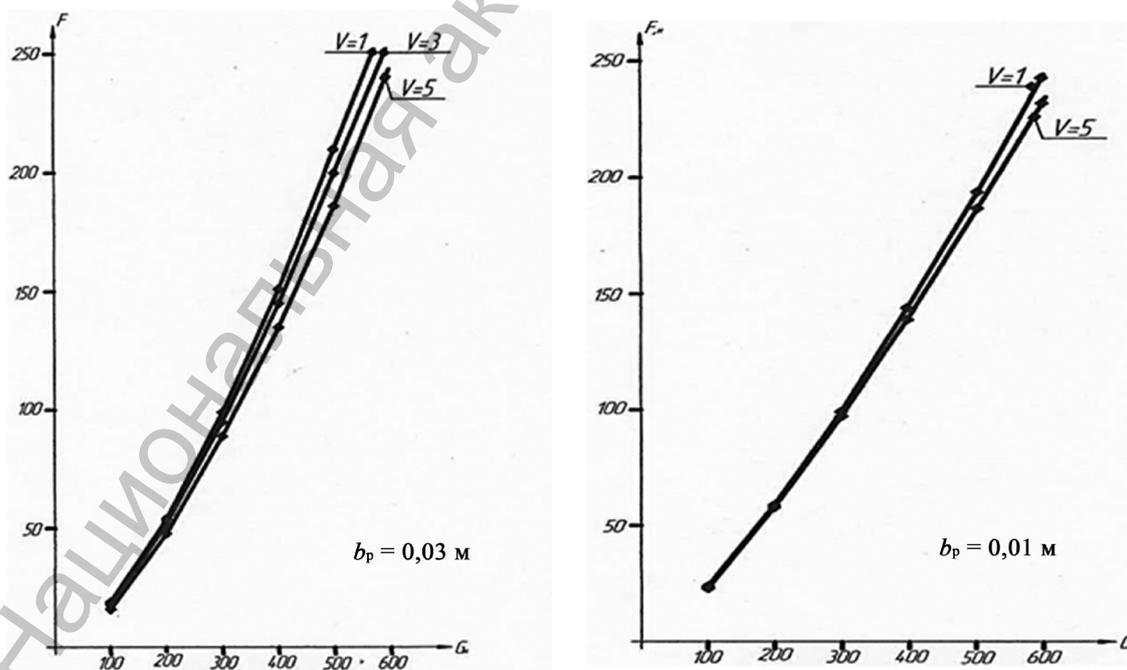


Рис. 3. Зависимость тягового сопротивления двухдискового сошника  $F$  от вертикальной нагрузки  $G$  при разных скоростях  $v = 1,0; 3,0; 5,0$  м/с и ширине реборды

Таблица 2. Зависимость тягового сопротивления от конструктивных и технологических параметров двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков и внешними усеченно-конусными ребрами-бороздообразователями, Н

Скорость, $v$ , м/с	Нагрузка вертикальная, $G$ , Н	$R = 0,15; R = 0,175; \epsilon_d = 0,04; \mu = 45^\circ; a = 20^\circ$			
		$b_p = 0,01$ м	$b_p = 0,02$ м	$b_p = 0,03$ м	$b_p = 0,04$ м
1 м/с (3,6 км/ч)	100	18,5	20,46	23,50	–
	200	54,36	54,47	58,91	–
	300	99,23	94,80	99,58 ▲	107,30 ▲
	400	151,43	140,9	144,03	153,01
	500	210,4	191,6	192,38	201,46
	600	275,92	246,29	244,22	252,97
2 м/с (7,2 км/ч)	100	18,24	20,20	23,67	–
	200	53,42	53,79	5,90	–
	300	97,73	94,04	98,70 ▲	107,43 ▲
	400	150,04	139,31	143,74	153,33
	500	206,89	189,63	191,18	201,29
	600	271,28	243,38	242,46	252,85
3 м/с (10,8 км/ч)	100	17,67	19,86	23,29	–
	200	51,96	53,10	58,74	–
	● 300	● 95,29	● 92,73	● 98,41 ▲	● 107,69 ▲
	400	145,24	137,45	142,19	153,09
	500	201,84	18,53	189,53	200,90
	600	263,77	239,70	240,00	251,46
4 м/с (14,4 км/ч)	100	16,96	19,56	23,37	–
	200	50,16	51,97	57,94	–
	● 300	● 92,00	● 91,16	● 97,20 ▲	● 107,82 ▲
	400	140,42	134,80	140,83	152,43
	500	194,98	182,38	187,90	199,71
	600	245,76	234,17	237,31	250,28
5 м/с (18,0 км/ч)	100	16,03	19,86	23,29	–
	200	47,86	53,10	58,74	–
	● 300	● 88,49	● 92,73	● 98,41 ▲	● 107,69 ▲
	400	135,24	137,45	142,19	153,09
	500	201,84	18,53	189,53	200,90
	600	263,77	239,70	240,00	251,46

Условные обозначения:

- – значение тягового сопротивления при изменении ширины реборды-бороздообразователя;  
 ● – значение тягового сопротивления при ширине реборды  $b_p = 0,03$  м и изменении скорости  $v = 1,0–5,0$  м/с движения сошника;  
 ▲ – значение тягового сопротивления при ширине реборды  $b_p = 0,01$  м и изменении скорости  $v = 1,0–5,0$  м/с движения сошника.

С изменением вертикальной нагрузки  $G$  от 100 до 600 Н на экспериментальный двухдисковый сошник увеличивается его тяговое сопротивление от 20 Н при  $G = 100$  Н до 230 Н при  $G = 600$  Н. Исследования показывают, что вертикальная нагрузка  $G$  при различных скоростях движения оказывает существенное влияние на двухдисковый сошник. В то же время скорость движения экспериментального двухдискового сошника не оказывает существенного значения на его тяговое сопротивление.

Зависимость тягового сопротивления экспериментального двухдискового сошника определяли при изменении скорости движения от 1 до 5 м/с (3,6–18 км/ч) при различных значениях вертикальной нагрузки давления  $G = 100–500$  Н. Так, при небольших значениях вертикальной давления (100–300 Н) наблюдается небольшие снижения тягового сопротивления – от 54 до 47 Н при  $G = 200$  Н. При больших значениях вертикальной нагрузки (400–500 Н) снижение тягового сопротивления уменьшается более интенсивно – от 210 до 187 Н, например, при  $G = 500$  Н. Уменьшение

тягового сопротивления вызвано тем, что с ростом скорости сошника наблюдается уменьшение глубины бороздки, которая существенно влияет на составляющую силы сопротивления.

В полевых условиях зависимость тягового сопротивления  $F$  экспериментального двухдискового сошника определяли от ширины реборды  $b_p$  вертикальной нагрузки  $G$  и разных скоростях движения. При скорости движения сошника 1 м/с (3,6 км/ч) и значениях вертикальной нагрузки  $G$  100 и 200 Н тяговое сопротивление увеличивается незначительно, и эта зависимость близка к прямолинейной.

С увеличением вертикальной нагрузки на сошник при изменении ширины реборды от 0,01 до 0,04 м тяговое сопротивление сначала убывает, а затем возрастает. Так, например, при значениях  $G = 300, 400$  и  $500$  Н и изменении ширины реборды от 0,01 до 0,02 м уменьшение тягового сопротивления составляет 5, 10 и 19 Н соответственно, т. е. 5,0; 6,6 и 9,0 %. Это объясняется тем, что глубина бороздки при увеличении ширины усеченно-конусной реборды  $b_p$  от 0,01 до 0,02 м вначале начинает незначительно уменьшаться, что приводит к уменьшению тягового сопротивления. В дальнейшем при увеличении ширины реборды  $b_p$  до 0,04 м происходит незначительное уменьшение глубины, но за счет увеличения ширины реборды и, соответственно, более широкой бороздки происходит увеличение тягового сопротивления. При ширине реборды  $b_p$  до 0,04 м по сравнению с  $b_p = 0,02$  м увеличение тягового сопротивления при значениях вертикальной нагрузки  $G = 300, 400$  и  $500$  Н составляет 12,6, 8,6 и 6,3 % соответственно. Из представленных исследований видно, что с точки зрения энергосбережения наиболее приемлемой является ширина усеченно-конусной реборды  $b_p = 0,02-0,03$  м.

Сопротивление  $F$  двухдискового сошника с увеличением скорости  $v$  до 3,0 и 5,0 м/с по сравнению с  $v = 1,0$  м/с при всех значениях ширины реборды  $b_p$  и вертикальной нагрузки  $G$  незначительно уменьшается, что вызвано небольшим уменьшением глубины бороздки в сторону ее уменьшения. Характер изменения зависимостей тягового сопротивления  $F$  при скоростях  $v = 1,0, 3,0$  и  $5,0$  м/с остается идентичным.

Зависимости тягового сопротивления  $F$  при изменении ширины  $b_p$  реборды-бороздообразователя и скоростях движения  $v = 1,0$  и  $5,0$  м/с, а также различных значениях вертикальной нагрузки на двухдисковый сошник показывают идентичные изменения тягового сопротивления. С увеличением скорости  $v$  от 3,0 до 5,0 м/с при значении  $G = 300$  Н снижение тягового сопротивления составляет около 4 %, а при значении  $G = 600$  Н и ширине реборды  $b_p = 0,02$  м  $\approx 4,5$  %. С увеличением ширины реборды тяговое сопротивление увеличивается при скоростях  $v = 3,0$  и  $5,0$  м/с и вертикальной нагрузке  $G = 300$  Н на 11,4 и 10,8 % соответственно.

Таким образом, проведенные исследования тягового сопротивления  $F$  двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков, на которых с внешней стороны симметрично закреплены усеченно-конусные реборды, показали хорошую работоспособность при различных значениях конструктивных и технологических параметров, при невысоком тяговом сопротивлении  $F = 250$  Н, при максимальных значениях ширины реборды, вертикального давления  $G$  и скорости движения  $v$ .

## Выводы

1. На основании проведенных исследований определена зависимость глубины бороздки  $h_b$ , раскрываемой двухдисковым сошником с нулевым углом атаки дисков с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями, от скорости движения и давления прижатия сошника к почве.

2. По результатам лабораторно-полевого опыта получена экспериментально-теоретическая зависимость глубины укладки семян зерновых культур экспериментальным сошником от скорости и давления на него.

Разности между глубиной раскрываемой бороздки и укладкой семян зерновых культур, определенные по теоретическим и экспериментально-теоретическим зависимостям, находятся в пределах 0,18–0,41 см, при этом они уменьшаются с увеличением скорости и увеличиваются с возрастанием давления прижатия двухдискового сошника к почве.

3. В серийно выпускаемых комбинированных агрегатах и сеялках двухдисковые сошники устанавливаются в два ряда [11, 12]. Двухдисковые сошники, предлагаемые нами, могут быть

установлены в один ряд, не вызывая сгуживания почвы на подготовленных к посеву зерновых культур [13].

4. Установлено, что с увеличением скорости движения  $v$  до 5,0 м/с экспериментального двухдискового сошника с усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями имеет место уменьшение тягового сопротивления, вызванное незначительным выглублением рабочих органов.

При увеличении ширины реборд-бороздообразователей имеет место (при  $b_p = 0,02$  м) уменьшение тягового сопротивления, с увеличением скорости от 3,0 до 5,0 м/с (при  $b_p = 0,04$  м) – его возрастание. Влияние скорости движения двухдискового сошника с нулевым углом атаки дисков и внешними односторонними, симметрично установленными ребордами-бороздообразователями при других постоянных параметрах на тяговое сопротивление оказывает значительно меньшее.

#### Список использованных источников

1. *Петровец, В. Р.* Обзор и исследование одно- и двухстрочных современных дисковых сошников / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вест. Белорус. гос. акад. – 2009. – № 1. – С. 152–158.
2. Исследование двухдисковой сошниковой группы на посеве зерновых культур / В. Р. Петровец [и др.] // Вест. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – № 2. – С. 151–156.
3. Двухдисковый сошник: пат. 5026 Респ. Беларусь, МПК 7 А 01 С 7/00 / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко, С. В. Авсюкевич; дата публ.: 12.11.2008.
4. Двухдисковый четырехстрочный сошник: пат. 5803 Респ. Беларусь, МПК 7 А 01 С 7/00 / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, Н. И. Дудко. – Оpubл. 16.04.2009.
5. *Петровец, В. Р.* Теоретические исследования двухдискового сошника с коническими ребордами-бороздообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич // Вест. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2010. – № 2. – С. 154–159.
6. *Петровец, В. Р.* Динамическое сопротивление двухдискового сошника с ребордами-бороздообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич // Вест. Белорус. гос. акад. – 2010. – № 3. – С. 155–160.
7. *Воднев, В. Т.* Математический словарь высшей школы / В. Т. Воднев, А. Ф. Наумович, Н. Ф. Наумович. – Минск: Высшая школа, 1984.
8. *Двайт, Г. Б.* Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М.: Наука, 1977.
9. *Петровец, В. Р.* Перспективные направления в развитии механизации обработки почвы и посева зерновых культур / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич // Вест. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2007. – № 3. – С. 142–149.
10. Классификация двухдисковых сошников для посева травяных и зерновых культур / С. В. Авсюкевич, Н. И. Дудко, В. Р. Петровец // Вест. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2012. – № 2. – С. 138–143.
11. *Петровец, В. Р.* Распределение семян по глубине двухдисковыми сошниками с нулевым углом атаки дисков с внешними усеченно-конусными ребордами-бороздообразователями / В. Р. Петровец, С. В. Авсюкевич // Вест. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2012. – № 2. – С. 153–158.
12. *Петровец, В. Р.* Технологии и машины для посева зерновых культур: лекция / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц, С. В. Авсюкевич. – Горки, 2008. – 20 с.
13. Подготовка и работа посевных агрегатов: учеб. пособие / В. Р. Петровец [и др.]. – Горки, 2012. – 44 с.

Поступила в редакцию 17.04.2015