

УДК 631.312.021

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ПЛУГА ДЛЯ ТРАКТОРОВ ТЯГОВОГО КЛАССА 14 кН

Смирнов П.А., Смирнов М.П., Медведев В.И.

**Реферат.** Большинство плугов небольшой ширины захвата, используемых в личных подсобных хозяйствах, спроектированы еще в советские времена. Кроме проверенной временем конструкции, им присущи и скрытые недостатки, которые связаны с агрегатированием их современными тракторами, которые оснащены более широкопрофильными задними шинами. Так, например, ныне выпускаемые модификации тракторов МТЗ-80/82, ЮМЗ-6КЛ оснащены шинами 15,5R38,0 на задней оси, ширина которых, измеренная вне зоны её деформации, в зависимости от давления в них и срока эксплуатации составляет около 38,4...40,3 см. При перекаtywании колеса с вышеназванной шиной по вскрытой плугом ПН 3-35 борозде (ширина борозды 28-30 см) неизбежно возникает существенное уплотнение, что отражается на качестве вспашки и увеличении общего тягового сопротивления агрегата. Соответственно, увеличивается погектарный расход топлива и смазочных материалов. Например, по теоретическим расчетам при значении коэффициента объемного смятия почвы  $q_0=1,0$  Н/см<sup>3</sup> тяговое сопротивление в целом агрегата увеличивается на 14,7%. Нами был предложен модернизированный плуг на базе ПН 3-35 (патент №2420938). Конструкция его корпусов позволяет образовывать первыми двумя корпусами пласты трапециевидного сечения. При этом уширенный на 5 см третий корпус отваливает пласт прямоугольного сечения. Форма корпусов была выбрана из условия массопереноса почвы и обеспечения агротехнических требований по выровненности поверхности поля. Был изготовлен плуг и проведены опытно-производственные испытания. Они показали, что в борозде отсутствует уплотненная зона, а также заметно снижается тяговое сопротивление.

**Ключевые слова:** плуг, уплотнение, «цилиндрическое копыто», сечение пласта, сечение пласта, гребнистость.

**Введение.** С увеличением площадей личных подсобных хозяйств (ЛПХ) в начале 1990-х годов и внедрением рыночных отношений частные землевладельцы стали замечать скрытые недостатки качества работ пахотных агрегатов на базе колесных тракторов. При предшествующей коллективной форме организации труда на такие существенные моменты просто не обращали внимания. Недостатки заключались в следующем: после вспашки агрегатом МТЗ-80/82 + ПН 3-35 на глубине 0,10...0,25 м остается уплотненный слой почвы вдоль движения агрегата шириной приблизительно 0,15 см. Особенно выделялся такой уплотненный слой при вспашке распространенным плугом ПН 4-30.

Цель исследования – сокращение непроизводительных затрат тягового усилия на уплотнение почвы правыми бороздными колесами пахотного агрегата тракторов класса 30 кН с ПН 3-35 без радикальной модернизации этих плугов.

Задачи исследования:

- 1) определить оптимальное сечения пласта каждым корпусом плуга для исключения гребнистости поверхности поля, как корпусами плуга, так и смежными проходами, вспаханного экспериментальным плугом;
- 2) разработать методику проектирования корпусов с удлиненным носком лемеха и последнего корпуса с уширенным отвалом;
- 3) изготовить экспериментальный плуг для тракторов тягового класса 30 кН и провести опытно-производственные исследования проектированного плуга для подтверждения внедренных решений;

- 4) определить агротехническое качество вспашки экспериментальным плугом и технико-экономические характеристики агрегата.

**Условия, материалы и методы исследований.** С целью исследования значимости влияния конструктивных параметров указанных плугов на гребнистость поверхности поля нами был проведен анализ существующих плугов для тракторов класса 30кН. Лемешные плуги ПН 3-35 были разработаны для тракторов Т-40М, Т-40АМ, МТЗ-5ЛС, МТЗ-50/52 и их аналогов с задними шинами размером 11,0\*38,0 и 12,0\*38,0. Ширина этих шин составляет 0,28...0,30 м, и при перекаtywании в процессе вспашки по вскрытой борозде правое заднее колесо незначительно уплотняло разрыхленную почву. Однако современные модификации тракторов МТЗ-80/82, ЮМЗ-6КЛ оснащены шинами 15,5R38,0 на задней оси, на трактора ЛТЗ-55, ЛТЗ-60АВ, ЛТЗ-65Л устанавливаются шины 13,6R38,0. Ширина шин 15,5R38,0, измеренная вне зоны её деформации, в зависимости от давления в них и срока эксплуатации составляет 38,4...40,3см, ширина шин 13,6R38,0 – 34,0...34,5 см (таблицы 1-2). При перекаtywании колеса с вышеназванной шиной по вскрытой плугом ПН 3-35 борозде неизбежно возникает существенное уплотнение (рисунки 1-3), что отражается на качестве вспашки и увеличении тягового сопротивления, соответственно, и увеличении погектарного расхода топливо-смазочных материалов.

Для определения приращения сопротивления за счет перекаtywания правого ведущего колеса по вскрытой борозде определены конструктивные и технологические параметры,

представленные на рисунке 1, согласно которому  $H$  – установленная глубина вспашки;  $h$  – высота пласта;  $B$  – ширина шины;  $B_1$  – ширина борозды на поверхности,  $B_2$  – ширина дна борозды;  $B_3$  – ширина дна борозды с учетом скатившихся отдельных комков,  $\varphi$  – ширина смятой зоны с учетом боковой деформации шины и наклона трактора;  $\gamma = 9,5 \dots 10^\circ$  – поперечный крен трактора [1-5].

Размеры передних и задних шин тракторов, представленных в таблице 2, измерены в ЗАО «Прогресс», СХПК «Чурачикское» Чебоксарского района Чувашской Республики, на кафедре «Транспортно-технологические

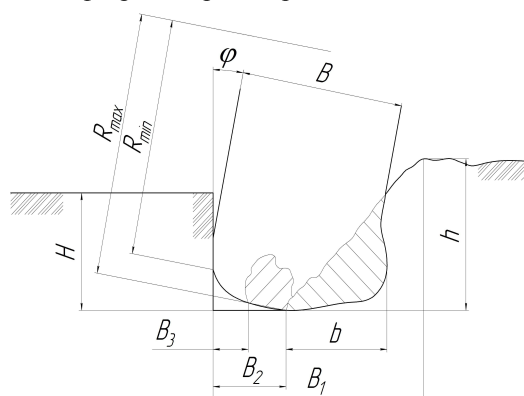


Рисунок 1 – Схема с указанием параметров борозды и шины

машины комплексы» и УНПЦ ФГОУ ВО «Чувашская ГСХА».

Указанная проблема актуальна для пахотных агрегатов на базе импортных тракторов и плугов. И представлена она значительно существеннее, поскольку эти трактора оснащены широкими шинами [1, 2,3].

По Д.А Чудакову [6], в случае одновременной деформации шины и почвы «...затраты на деформацию почвы играют значительно большую роль в общем балансе потерь на качение колеса, чем затраты на деформацию шины». По его же мнению, главным источником снижения сопротивления качению является уменьшение глубины деформации почвы. Учитывая сложность деформационных процессов в шине, в расчетах колесо нами рассматривается жестким.

В формуле Грандвуане-Горячкина [7] для определения тягового сопротивления катка и жесткого колеса в качестве вертикальной силы принимается сила тяжести машины, приходящейся на ось. В рассматриваемом случае вертикальное усилие может быть приравнено реакции уплотненной почвы, которая определяется как произведение смятого объема  $V$  на коэффициент объемного смятия  $q_0$ .

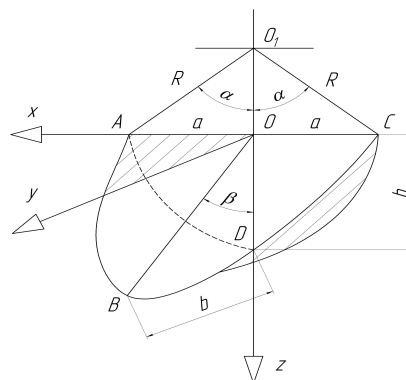


Рисунок 2 – К расчету зоны уплотнения почвы под правым колесом трактора

В нашем случае объемом сминаемой почвы  $V$  является тело под названием «цилиндрическое копыто», образованное сечением цилиндра косою плоскостью ABC (рисунок 2) [7, 8]. Экспериментально установлено, что при коэффициенте объемного смятия  $q_0=0,6 \text{ Н/см}^3$ , весь объем  $V$  вытесняется в сторону пашни (элемент бульдозерного эффекта в поперечном направлении) или выбрасывается грунтозацепами на поверхность поля при буксовании (эффект экскавации). На дне борозды остается уплотненная подошва высотой не более 4,5см, которым при расчетах можно пренебречь. По справочнику [9] определены формулы (1) и (2) для расчета объема «цилиндрического копыта»  $V$ :

Буквенные обозначения выражений (3) и (4) указаны на рисунках 1 и 2.

Для частного случая уплотнения почвы в виде «цилиндрического копыта» точку приложения равнодействующей реакции почвы следует принять приближенно  $(1/5 \dots 1/6)a$ . В таком случае, тяговое сопротивление колеса определится по формуле (3):

Таблица 1 – Результаты измерений параметров борозды (обозначения по рисунку 1), м

Марка плуга	Параметров борозды при глубине вспашки $H=0,24 \text{ м}$			
	Ширина на поверхности пашни $B_1$	Ширина на дне $B_2$	Ширина на дне с учетом скатившихся комков $B_3$	Высота пласта $h$
ПН 3-35	0,445...0,475	0,270...0,290	0,140...0,180	0,250...0,260
ПН 4-30	0,380...0,410	0,070...0,110	0...0,050	0,250...0,260
ПН 3-30	0,390...0,430	0,120...0,140	0,05...0,070	0,250...0,260
при вспашке поперек склона $4,5^\circ$ «свал - в гору», $H=24 \text{ см}$				
ПН 3-35	0,308...0,352	0,150...0,180	0...0,100	0,235...0,250
ПН 4-35	0,256...0,304	0,050...0,080	0...0,030	0,235...0,250

Таблица 2 – Параметры шин тракторов (по рисунку 1)

Параметры шины	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
Размер шины (трактор)	15,5R38,0 (МТЗ-80/82, ЮМЗ-6КЛ)		
Рекомендуемое давление в шинах, МПа			0,098
Радиус, м	0,750	0,800	
Ширина, м	0,384	0,400	
Размер шины (трактор)	13,6R38,0 (ЛТЗ-55, 60, 65)		
Рекомендуемое давление в шинах, МПа			0,100
Радиус, м			
Ширина, м	0,340	0,345	
Размер шины (трактор)	530×610 (Т-150К)		
Рекомендуемое давление в шинах, МПа			0,12±0,01 (передних) 0,10±0,01(задних)
Радиус, м	0,615	0,655	
Ширина, м	0,510	0,540	
Размер шины (трактор)	12,4×282 (Т-30А)		
Рекомендуемое давление в шинах, МПа			0,090
Радиус, м	0,590	0,620	
Ширина, м	0,290	0,320	
Размер шины (трактор)	16,9 R 38 (МТЗ-1025) задние		
Рекомендуемое давление в шинах, МПа	0,10	0,120	
Радиус, м		0,675	
Ширина, м		0,410	
Размер шины (трактор)	13,6×20 (МТЗ-1025) передние		
Рекомендуемое давление в шинах, МПа	0,1-0,12		
Радиус, м	0,500...0,528		
Ширина, м	0,327...0,330		

$$V = \frac{bR^3}{h} \left[ a(3R^2 - a^2) + 3R^2(h - R)\alpha \right] \quad (1)$$

$$V = \frac{bR^2}{h} \left[ \sin \alpha - \frac{\sin^3 \alpha}{3} - \alpha \cos \alpha \right] \quad (2)$$

Результаты теоретических расчетов тягового сопротивления на перекачивание правого заднего колеса по разрыхленной почве представлены в таблицах 3 и 4. Анализ последних показывает, что общее тяговое сопротивление агрегата увеличивается при вспашке плугами ПН 3-35 до 10%, плугами ПН 4-30 – до 15%.

$$P_x = \frac{1}{2} V q_0 \operatorname{tg} \left( \frac{1}{5} \dots \frac{1}{6} \right) \alpha \quad (3)$$

Следует заметить, что значения длины хорды 2а при экспериментальном измерении получены выше теоретических на 11,0%. Также отметим, что измерения непосредственно на пахотном агрегате высоты *h* показывают, что вследствие выдавливания почвы колесом в сторону пашни, её значение также больше на 3,5...5,0 см [10, 11].

Проведя ряд графических исследований (более 12 вариантов) по обороту различных форм пласта почвы и изучив условия массопереноса, пришли к однозначному выводу, что примитивное увеличение ширины захвата зад-

Таблица 3 – Исходные данные для расчетов тягового сопротивления

Параметр	Плуг	
	ПН 3-35	ПН 4-30
Ширина уплотняемой зоны <i>v</i> , см	18,00	27,00
Высота уплотняемой зоны <i>h</i> , см	23,00	26,00
Полухорда <i>a</i> , см	54,00	56,80
Угол <i>a</i> , рад	0,80	0,86

него корпуса приведет к гребнеобразованию. Компенсировать перенос дополнительной массы почвы предыдущими корпусами возможно только в случае трапецевидного сечения их обрабатываемого пласта (рисунок 3).

**Анализ и обсуждение результатов.** Для оценки выровненной поверхности экспериментальным плугом определен критерий  $R_z$  как сумма средних абсолютных значений высот четырех наибольших выступов профиля  $H_{max}$  и глубин четырех наибольших впадин  $H_{min}$  профиля в пределах базовой длины от рейки-горизонтالي (4). Причем базовая длина приравнена ширине захвата экспериментального плуга  $b_n = 1,10$  м, а количество учитываемых выступов (впадин) выбран из расчета  $i > k$  ( $k$  – количество корпусов плуга):

С увеличением глубины первого и второго корпусов и ширины захвата плуга до 1,12м неизбежно повышение тягового сопротивления до 14,2 кН при глубине вспашки  $a =$

Таблица 4 – Результаты теоретических расчетов тягового сопротивления на перекатывание колеса с шиной 15,5R38,0 по борозде

	Расчетные значения			
	При вспашке ПН 3-35	В % от общего тяг. сопротивления	При вспашке ПН 4-30	В % от общего тяг. сопротивления
Объем уплотняемой почвы, дм <sup>3</sup>	6,10...7,75		11,10...11,39	
Тяговое сопротивление при $q_0=1,0 \text{ Н/см}^3, P_x, \text{ кН}$	0,82...0,905	7,10...10,05	1,60...1,64	До 14,7
Тяговое сопротивление при $q_0=0,6 \text{ Н/см}^3, P_x, \text{ кН}$	0,42...0,52	5,60...6,20	0,98...0,99	До 8,9

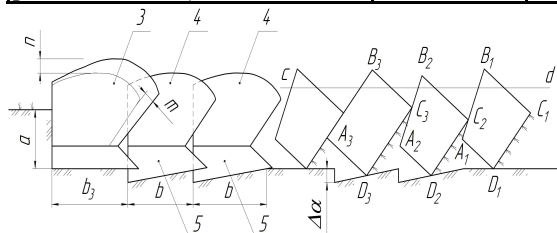


Рисунок 3 – Схема оборота пласта и создания выровненной поверхности экспериментальным плугом [12, 13]

0,265см. Поэтому в соответствии с тяговым классом трактора МТЗ-82, все дальнейшие математические и графические расчеты и экспериментальные работы проведены для глубины вспашки  $a = 0,24 \text{ м}$ .

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i^{\min} + \sum_{i=1}^4 H_i^{\max}}{4} \quad (4)$$

Для стабильного хода плуга проведен перерасчет размеров полевой доски, который показал необходимость увеличения длины полевой доски для первого и второго корпусов на 20 мм, а третьего – на 50 мм. Наиболее простым техническим решением задачи является установка на всех корпусах уширенных полевых досок ПЛЖ 41.501, предусмотренные только для заднего корпуса с задачей поперечной стабилизации хода всего плуга.

Проектированием по известному методу построения рабочей поверхности по одной направляющей кривой и заданному закону изменения угла образующей для цилиндрических типов плужных корпусов [14] позволил определить размеры лемехов (рисунки 4-6), отвала третьего корпуса и шаблоны для контроля за профилем поверхности.

Промеры стандартного отвала на плуге ПЛН 3-35, произведенные с использованием профилографа на кафедре «Транспортно-технологические машины и комплексы» ФГБОУ ВПО «Чувашская ГСХА», показал необходимость его увеличения только в сторону бороздного обреза, а его верхний обрез находится в рамках расчетных данных.

Изготовить лемеха первого и второго корпусов до расчетных размеров оттягиванием кузнечным способом из лемеха ПНЖ 31.702 [15] за счет запаса металла «магазина» не уда-

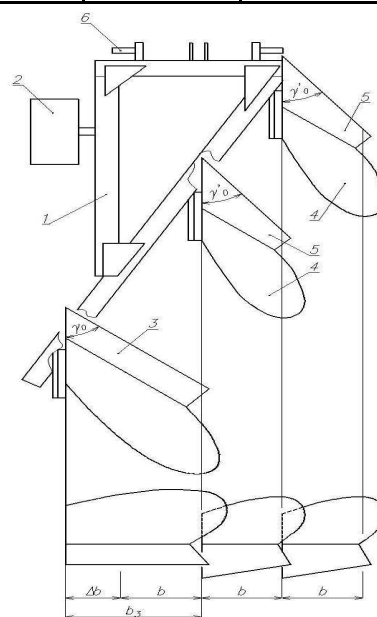


Рисунок 4 – Вид экспериментального плуга сверху со смещенным задним корпусом:

- 1 – рама плуга; 2 – опорное колесо;
- 3 и 4 – задний и предыдущие корпуса;
- 5 – уширенные лемеха; 6 – прицепное устройство

ется. При этом толщина лемеха на носке уменьшается до 8,0...8,5мм. Расчет оттянутого лемеха на изгиб показал его недостаточную прочность, что впоследствии подтвердилось изгибом носка при первом же проходе экспериментальной вспашки на краю поля, где почва была с повышенной твердостью.

Перемещение влево третьего корпуса без существенных изменений на раме плуга возможно перестановкой сварной стойки ПЛЕ.01.200 [15] с левой стороны кронштейна, предварительно срезав косынку усиления. При литой стойке потребуются фрезерная обработка её привалочной плоскости. Для смещения корпуса на 7см была изготовлена металлическая распорная прокладка.

В табл. 4 сведены данные исследований по выровненности поверхности поля и ширине борозды. Согласно этим данным, установка уширенного третьего (последнего) корпуса плуга позволяет достичь высокого агротехнического качества вспашки, как по гребнистости, так и по однородности рыхления пласта.

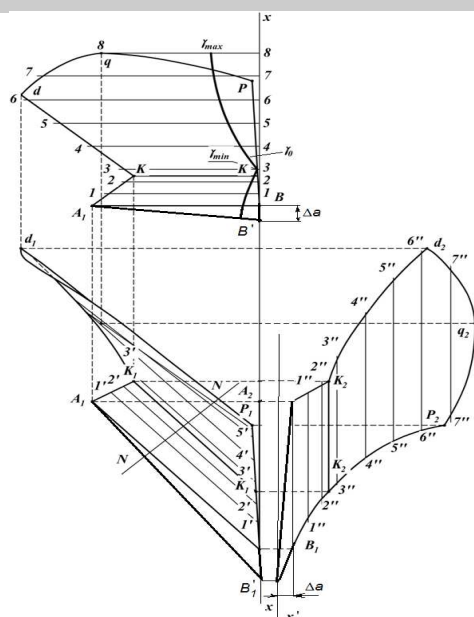


Рисунок 5 – Построение горизонтальной и продольно-вертикальной проекции отвала 1-го и 2-го корпусов ПН 3-35

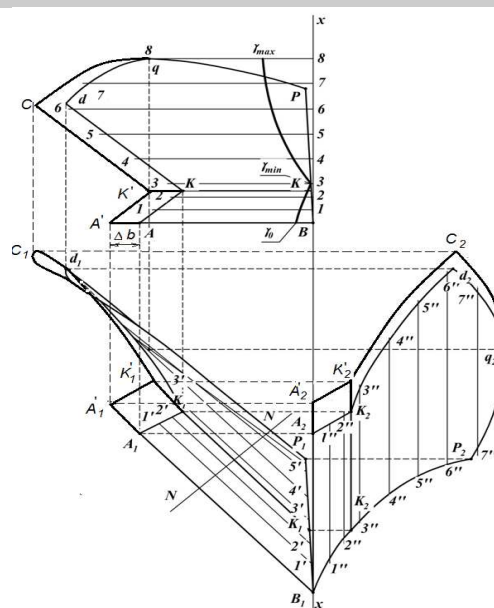


Рисунок 6 – Построение горизонтальной и продольно-вертикальной проекции отвала 3-го корпуса ПН 3-35 [7]

Таблица 4 – Выравненность поверхности поля и средняя ширина борозды

Варианты установки корпусов	Показатель выравненности $R_z$ , мм		Ср. значение ширины борозды $B_1$ , см
	теорет., по неразрушенному пласту	экспериментальный	
Базовый плуг ПН 3-35	174	83,5	42,1
Плуг ПН 3-35 с уширенным 3-им корпусом на 0,42м	187	-	53,4
Эксперимент. плуг с усовершенств. лемехами без перестановки уширенного третьего корпуса	181,4	94	55,6
Эксперимент. плуг с усовершенств. лемехами с перестановкой уширенного третьего корпуса на 45мм	186,8	91,5	55,9
Эксперимент. плуг с усовершенств. лемехами с перестановкой уширенного третьего корпуса на 70мм	194,8	92,3	57,1

**Выводы.** Были определены оптимальные сечения пласта (форма и размеры) каждым корпусом для исключения гребнистости поверхности поля. Представлена методика проектирования корпусов с удлиненным носком лемеха и последнего корпуса с уширенным отвалом. Изготовлен экспериментальный плуг для тракторов тягового класса 30 кН, и проведены опытно-производственные исследования

проектированного плуга. При вспашке экспериментальным плугом обеспечивается агротехническое качество вспашки, как по гребнистости поверхности поля, так и по однородности рыхления пласта. Тягово-экономические характеристики пахотного агрегата улучшились за счет снижения тяговое сопротивление пахотного агрегата и увеличения ширины захвата плуга на 5 см.

Литература

1. [http://www.euroagropostavka.ru/catalogue/deutz-fahr/tractors/agrotron\\_165/AT120-180\\_RU.pdf](http://www.euroagropostavka.ru/catalogue/deutz-fahr/tractors/agrotron_165/AT120-180_RU.pdf)
2. <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>
3. <https://stavholding.johndeeredealer.ru/>
4. <https://lemken.com/ru/obrabotka-pochvy/vspashka/navesnoi-plug/>
5. <https://ru.kverneland.com/Obrabotka-pochvy/Plugi>
6. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Колос, 1972. 384 с.
7. Горячкин В.П. Собрание сочинений, Т.3. М.: Колос, 1968. 385 с.
8. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: "Джангар", 2001. 864 с.
9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по высшей математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
10. Патент №2640424 РФ, МПК А01В 13/14, А01В 15/025. Корпус плуга / Егоров В.П., Тончева Н.Н., Самсонов А.Н., Петров А.А., Федорова И.А., Степанов С.П.; заявитель и патентообладатель – ФГБОУ ВО ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. №2640424; заявл. 13.02.2017. Бюл. №1 от 09.01.2018.
11. Патент №2672494 РФ, МПК А01В 15/00, А01В 15/08. Корпус плуга / Егоров В.П., Тончева Н.Н., Самсонов А.Н., Федорова И.А., Степанов С.П., Петров А.А.; заявитель и патентообладатель – ФГБОУ ВО ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. №2672494; заявл. 18.12.2017. Бюл. №32 от 15.11.2018.
12. Смирнов П.А., Григорьев В.В. К вопросу совершенствования вспашки колесными тракторами // Ма-

териалы научной конференции. Т. XX. Чебоксары: ЧГСХА, 2005. С. 244-249.

13. Патент №2420938 РФ, МПК А01В 13/14, А01В 3/00. Плуг для тракторов класса 14-20 кН / Смирнов П.А.; заявитель и патентообладатель – ФГОУ ВПО Чувашская ГСХА. №2420938; заявл. 08.05.2009. Бюл. №17 от 20.06.2011.

14. Максимов И.И. Практикум по сельскохозяйственным машинам: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 416 с.

15. Плуг навесной трехкорпусный / Паспорт, техническое описание и руководство по эксплуатации. Одесса: Одесский з-д сельскохозяйственного машиностроения им. Октябрьской революции. 1979. 32 с.

**Сведения об авторах:**

Смирнов Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологических машины и комплексы», e-mail: smirnov\_p\_a@mail.ru

Смирнов Михаил Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортно-технологических машины и комплексы», e-mail: sttmo@yandex.ru

Медведев Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортно-технологических машины и комплексы»

ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия

**DESIGN AND RESULTS OF EXPERIMENTAL-INDUSTRIAL TESTS OF THE IMPROVED PLOW OF 14kN CLASS TRACTOR.**

**Smirnov P.A., Smirnov M.P., Medvedev V.I.**

**Abstract.** Most plows are of the small-width, used in personal subsidiary farms, were designed in Soviet times. In addition to the time-tested design, they also have hidden drawbacks that are associated with the aggregation by modern tractors, which are equipped with more wide-profile rear tires. For example, the currently produced modifications of tractors MTZ-80/82, YuMZ-6KL are equipped with tires 15.5R38.0 on the rear axle, the width of which, measured outside its deformation zone, depending on the pressure in them and the service life is about 38.4.. 40.3 cm. When the wheel with the above-mentioned tire is rolling on the furrow, opened by the plow PN 3-35 (the furrow width is 28-30 cm), substantial compaction inevitably occurs, which affects the quality of plowing and the increase in the total traction resistance of the unit. Accordingly, hectare consumption of fuel and lubricants increases. For example, according to theoretical calculations, when the value of the coefficient of bulk soil collapse  $q_0 = 1.0 \text{ N/cm}^3$ , the traction resistance of the aggregate as a whole increases by 14.7%. We have proposed a modernized plow on the basis of PN 3-35 (patent No.2420938). The design of its frame allows the formation of trapezoidal sections with the first two parts. At the same time, the third frame, broadened by 5 cm, rolls off a layer of rectangular section. The shape of the frames was chosen from the condition of the mass transfer of the soil and the provision of agrotechnical requirements for field surface alignment. A plow was made and pilot tests were carried out. It showed that there is no compacted zone in the furrow, as well as noticeably reduced traction resistance.

**Key words:** plow, compaction, “cylindrical hoof”, section of the formation, section of the formation, ridging.

**References**

1. [http://www.euroagropostavka.ru/catalogue/deutz-fahr/tractors/agrotron\\_165/AT120-180\\_RU.pdf](http://www.euroagropostavka.ru/catalogue/deutz-fahr/tractors/agrotron_165/AT120-180_RU.pdf)
2. <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>
3. <https://stavholding.johndeeredealer.ru/>
4. <https://lemken.com/ru/obrabotka-pochvy/vspashka/navesnoi-plug/>
5. <https://ru.kverneland.com/Obrabotka-pochvy/Plugi>
6. Chudakov D.A. *Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya*. [Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and car]. M.: Kolos, 1972. P. 384.
7. Goryachkin V.P. *Sobranie sochineniy*. [Collection of articles]. Vol. 3. M.: Kolos, 1968. P. 385.
8. Vygodskiy M.Ya. *Spravochnik po vysshey matematike*. [Handbook of higher mathematics]. M.: “Dzhangar”, 2001. P. 864.
9. Bronshteyn I.N., Semendyaev K.A. *Spravochnik po vysshey matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov*. [Handbook of higher mathematics for engineers and students of technical colleges]. M.: Nauka, 1986. P. 544.
10. Patent №2640424 RF, МПК А01В 13/14, А01В 15/025. *Korpus pluga*. [Plow unit]. / Egorov V.P., Toncheva N.N., Samsonov A.N., Petrov A.A., Fedorova I.A., Stepanov S.P.; заявитель i патентообладатель – FGBOU VO ChGPU im. I.YA. Yakovleva. №2640424; заявл. 13.02.2017. Byul. №1 от 09.01.2018.
11. Patent №2672494 RF, МПК А01В 15/00, А01В 15/08. *Korpus pluga*. [Plow unit]. / Egorov V.P., Toncheva N.N., Samsonov A.N., Fedorova I.A., Stepanov S.P., Petrov A.A.; заявитель i патентообладатель – FGBOU VO ChGPU im. I.YA. Yakovleva. №2672494; заявл. 18.12.2017. Byul. №32 от 15.11.2018.
12. Smirnov P.A., Grigorev V.V. *K voprosu sovershenstvovaniya vspashki kolesnymi traktorami*. // *Materialy nauchnoy konferentsii*. (On the issue of improving tillage by wheeled tractors. // Proceedings of the scientific conference). Vol. XX. Cheboksary: ChGSKhA, 2005. P. 244-249.
13. Patent №2420938 RF, МПК А01В 13/14, А01В 3/00. *Plug dlya traktorov klassa 14-20 kN*. [Plow for tractors of 14-20 kN class]. / Smirnov P.A.; заявитель i патентообладатель – FGOU VPO Chuvashskaya GSKhA. №2420938; заявл. 08.05.2009. Bul. №17 от 20.06.2011.
14. Maksimov I.I. *Praktikum po selskokhozyaystvennym mashinam: Uchebnoe posobie*. [Workshop on agricultural machinery: study guide]. SPb.: Izdatelstvo “Lan”, 2015. P. 416.
15. *Plug navesnnoy trekhkorpusnyy. / Passport, tekhnicheskoe opisaniye i rukovodstvo po ekspluatatsii*. [Three-unit hinged plow. / Passport, technical description and operation manual]. Odessa: Odesskiy z-d selskokhozyaystvennogo mashinostroeniya im. Oktyabrskoy revolyutsii. 1979. P. 32.

**Authors:**

Smirnov Petr Alekseevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Transport-technological machines and complexes”, e-mail: smirnov\_p\_a@mail.ru

Smirnov Mikhail Petrovich - Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Transport-technological machines and complexes”, e-mail: sttmo@yandex.ru

Medvedev Vladimir Ivanovich - Doctor of Technical sciences, Professor of the Department “Transport technological machines and complexes”

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia.