

## РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГЛУБИНЫ ХОДА НАВЕСНОГО ПЛУГА

Владимир Васильевич Василенко<sup>1</sup>  
Валерий Иванович Посметьев<sup>2</sup>  
Сергей Владимирович Василенко<sup>1</sup>  
Маргарита Александровна Латышева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Во время эксплуатации плуга меняются почвенно-погодные условия и техническое состояние его рабочих органов, в результате чего плуг может потерять устойчивость по глубине обработки и вспашка получится более мелкой. В таких случаях возникает необходимость создавать догружающее усилие в вертикальном направлении. Применение балласта нецелесообразно, так как это увеличивает металлоёмкость изделия и ухудшает его эксплуатационные качества. Сотрудниками кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета разработано приспособление к навесной системе, позволяющее управлять ориентацией вектора силы тяги трактора из кабины на ходу агрегата за счет того, что высоту расположения задних концов тракторных тяг можно изменить при помощи дополнительной рамки с гидроцилиндром. Эта рамка вставляется в навесную систему и при помощи гидроцилиндра переносит точки приложения силы тяги. Регулирование выполняется на ходу без остановки агрегата. Проведенный графический анализ действующих сил показывает, что при нормальном состоянии лемехов плуг идёт устойчиво по заданной глубине вспашки, и для уменьшения тягового усилия желательно опускать точки навески ближе к поверхности почвы, а по мере износа лемехов приподнимать их, используя дополнительные возможности навесной системы. Для навесного плуга ПН-4-35, работающего с трактором МТЗ-1221.2, при помощи указанного приспособления можно изменять вертикальную нагрузку на опорное колесо от 7,2 до 2,0 кН. При этом тяговое сопротивление плуга уменьшается с 30,5 до 29,3 кН, а сцепной вес трактора увеличивается на 7,1-12,1 кН.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вектор силы тяги, равнодействующая сила, глубина вспашки, план сил, сопротивление плуга.

## REGULATION OF STABILITY OF THE RUNNING DEPTH OF A MOUNTED PLOW

Vladimir V. Vasilenko<sup>1</sup>  
Valery I. Posmetjev<sup>2</sup>  
Sergey V. Vasilenko<sup>1</sup>  
Margarita A. Latysheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

<sup>2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The soil and weather conditions and the technical condition of plow working bodies are constantly changing during operation. As a result, the plow might lose stability in the processing depth, and plowing can become shallow. In these cases it is necessary to create an additional load in the vertical direction. The application of ballast is impractical, because it increases the specific amount of metal per structure and worsens the performance characteristics of the plow. Staff members of the Department of Machine Production, Maintenance and Operation of Voronezh State University of Forestry and Technologies have developed a device for the mounted system that allows controlling the orientation of the thrust vector from the cabine of the tractor unit on the move by changing the height of the rear ends of tractor tractions with the help of an additional frame with a hydraulic cylinder. This frame is inserted into the mounted system and shifts the centers of thrust using the hydraulic cylinder. Regulation is carried out on the move without stopping the unit. The performed graphic analysis of acting forces shows that when the ploughshares are in a normal condition, the plough moves steadily at the given plowing depth, and in order to reduce the traction force it is desirable to lower the suspension points closer to the soil surface. With the wear of plowshares it is advisable to lift them using the additional features of the mounted system. For the PN-4-35 mounted plow working with the MTZ-1221.2 tractor the mentioned device can change the vertical load on the support wheel from 7.2 to 2.0 kN. At the same time the plowing resistance decreases from 30.5 to 29.3 kN, and the tractor's adhesion weight increases by 7.1-12.1 kN.

KEY WORDS: thrust vector, resultant force, depth of plowing, plan of forces, plough resistance.

## Введение

Эксплуатация плугов для отвальной вспашки происходит в изменяющихся почвенно-погодных условиях и при различном состоянии рабочих органов. Сухость и твёрдость почвы, износ лемехов зачастую ухудшают устойчивость глубины вспашки, плуг плохо заглубляется или периодически выглубляется, приподнимая от земли опорное колесо. Постоянство глубины вспашки является непреложным условием повышения качества этой полевой операции [3]. Для лучшего заглубления плуга можно воздействовать дополнительными грузами на плуг, а для повышения тягово-сцепных свойств трактора навешивают грузы на трактор, но это увеличивает металлоёмкость и ухудшает все эксплуатационные показатели агрегата [2, 5, 10]. В навесных и полунавесных агрегатах вертикальные нагрузки на колёса трактора и сельскохозяйственной машины или орудия взаимосвязаны. Это проявляется не только на полевых, но и на транспортных работах [4, 8, 9].

### Методика регулирования

На почвообрабатывающее орудие можно воздействовать добавочной вертикальной силой, которая придаст устойчивость контакту опорного колеса с почвой. В отличие от принудительного опускания орудия гидравликой, эта сила не блокирует в жесткую систему весь комплекс навесных рычагов и не возбуждает в них изгибающих моментов.

Управление вектором силы тяги при помощи приспособления к навесной системе состоит в том, что высоту расположения задних концов тракторных тяг (точки М и К на рис. 1) можно изменить. Сотрудниками кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова разработано приспособление к навесной системе, позволяющее управлять ориентацией вектора силы тяги трактора из кабины на ходу агрегата [7]. Для этого в навесное устройство вставляется дополнительная рамка с гидроцилиндром. Высота расположения верхней тяги (точка К) корректируется предварительно, вручную.

Покажем эффективность воздействия этой механизированной регулировки на дополнительную силу прижатия плуга к земле. Расчёт проведём методом графического анализа [1], уточнённого для конкретного агрегата, состоящего из трактора Беларусь МТЗ-1221 и навесного плуга ПН-4-35 (рис. 1).

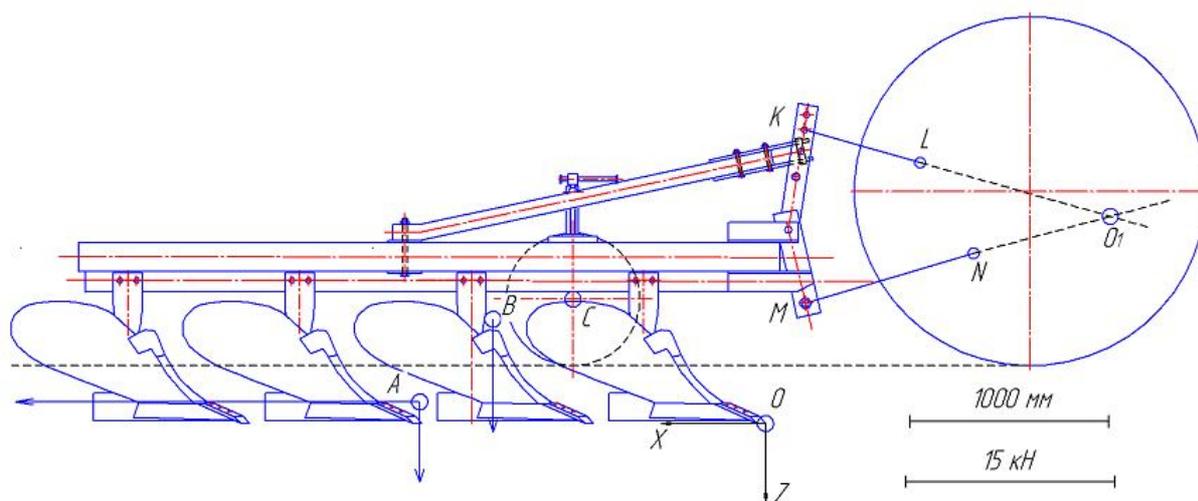


Рис. 1. Силовые нагрузки на плуг ПН-4-35 при вспашке в агрегате с трактором МТЗ-1221

### Результаты анализа

Исходными данными для анализа являются вычерченный в масштабе плуг с навесной системой трактора и силы, действующие на характерные точки плуга при глубине вспашки 27 см.

Проведём координатные оси  $OX$  и  $OZ$  с началом в носке первого рабочего корпуса и расставим действующие силы. Горизонтальная сила сопротивления рабочих корпусов приложена в точке  $A$ , которая находится на высоте стыка лемехов с отвалами на середине расстояния между центрами лемехов двух средних рабочих корпусов

$$R_{XA} = k_0 abn = 29 \text{ кН}, \quad (1)$$

где  $k_0$  – удельное сопротивление плуга для почв Воронежской области, по данным проф. Н.Д. Лучинского, может быть принято  $8 \text{ Н/см}^2$  [1];

$a, b$  – размеры почвенных пластов, см;

$n$  – число рабочих корпусов.

Вертикальная составляющая  $R_{ZA}$  силы сопротивления рабочих корпусов при острых лемехах направлена вниз и достигает 20% от  $R_{XA}$ . В этом случае  $R_{ZA} = 5,8 \text{ кН}$ . Сила веса плуга приложена в его центре тяжести (точка  $B$ ):  $R_{ZB} = 8,2 \text{ кН}$ . Остаются пока неизвестными силы, приложенные к оси опорного колеса (точка  $C$ ). Известно только направление линии действия их равнодействующей:  $tg\varphi = f$ , где  $\varphi$  – угол наклона равнодействующей к вертикали,  $f$  – коэффициент перекатывания колеса по полю.

Вычисляем суммы известных сил по обеим осям:  $\Sigma R_X = 29 \text{ кН}$ ,  $\Sigma R_Z = 14 \text{ кН}$  и их равнодействующую:  $R_{XZ} = \sqrt{29^2 + 14^2} = 32,2 \text{ кН}$ . Её угол наклона  $\alpha$  к оси  $X$  определяется по соотношению  $\frac{\Sigma R_Z}{\Sigma R_X} = tg\alpha$ , откуда  $\alpha = 26^\circ$ .

Зная координаты всех характерных точек плуга, можно вычислить сумму моментов всех известных сил относительно точки  $O$

$$\Sigma M_O = R_{XA} \cdot Z_A + R_{ZB} \cdot X_B + R_{ZA} \cdot X_A = 24516 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2)$$

Этот суммарный момент создаётся равнодействующей  $R_{XZ}$ , которая удалена от точки  $O$  на расстояние  $l$

$$l = \frac{\Sigma M_O}{R_{XZ}} = 76,14 \text{ см}. \quad (3)$$

Отрезок  $l$  наклонён к оси  $X$  на угол  $\beta = 90^\circ - \alpha = 64^\circ$ . С этого момента можно начинать графические построения плана сил (рис. 2).

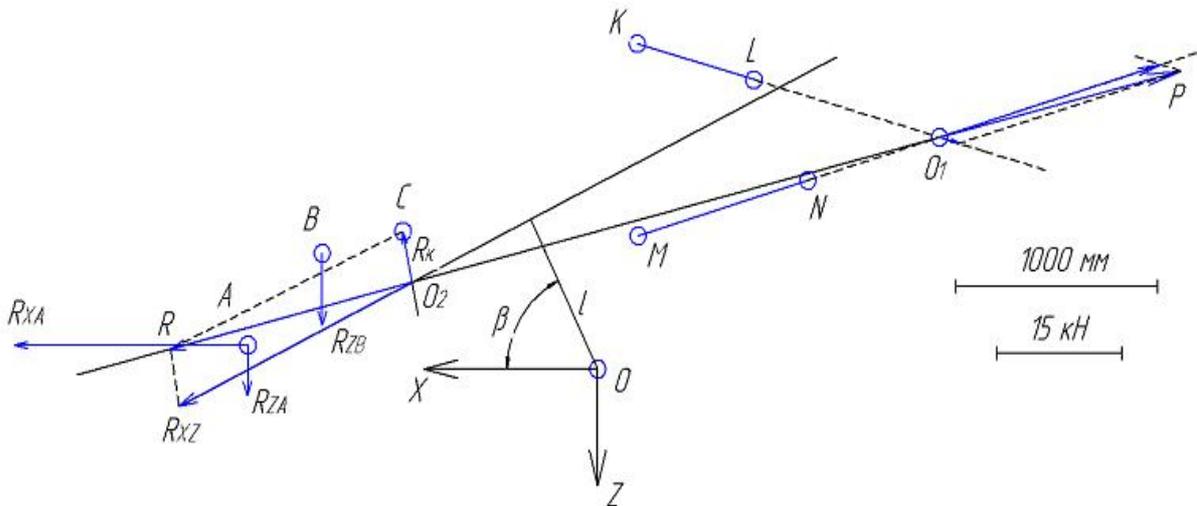


Рис. 2. План сил, действующих на плуг в продольно-вертикальной плоскости

Намечается начало координат в виде точки  $O$ , расставляются все характерные точки плуга и навески трактора, вычерчиваются в своём масштабе известные силы  $R_{XA}$ ,  $R_{ZA}$ ,  $R_{ZB}$ . Под углом  $\beta$  к оси  $OX$  проводится отрезок  $l$ , перпендикулярно этому отрезку через его конец проводится линия действия суммы всех трёх известных сил. Из центра колеса (точка  $C$ ) проводится линия действия равнодействующей двух сил, действующих на колесо. Если коэффициент перекатывания колеса, допустим,  $f = 0,2$ , то угол наклона этой силы к оси  $Z$

равен  $\varphi = \arctg 0,2 = 11,5^\circ$ . В точке пересечения двух равнодействующих (точка  $O_2$ ) находится центр сопротивления плуга. Из центра сопротивления проводится равнодействующая  $R_{XZ}$  по своей линии действия.

На продолжении тракторных тяг  $MN$  и  $KL$  находят точку  $O_1$  их пересечения, которая является мгновенным центром вращения тяг. Через точки  $O_1$  и  $O_2$  проводят линию действия вектора силы тяги всего плуга. Но самого вектора силы тяги на чертеже пока ещё нет. Чтобы его построить, надо учесть силу, действующую на колесо. Для этого из конца вектора  $R_{XZ}$  проводят отрезок параллельно отрезку  $O_2C$  до пересечения с линией действия вектора силы тяги. Здесь заканчивается вектор  $R$  сопротивления плуга, а начало у него находится в точке  $O_2$ . Достраивая параллелограмм, определяем вектор  $R_K$  сопротивления колеса. Измеряя его в принятом масштабе сил, получаем  $R_K = 6$  кН. Сила действия почвы на колесо направлена вверх, значит, плуг довольно значительно на него опирается.

Сила  $P$  тяги трактора равна и противоположна вектору  $R$  и приложена в точке  $O_1$ . Её можно разложить по верхней и нижней тягам трактора. В данном случае все тяги работают на растяжение, верхняя тяга испытывает силу 2,5 кН, а обе нижние в сумме прикладывают к плугу силу 29 кН. В итоге получается суммарная сила, которую трактор прикладывает к плугу,  $P = 31,1$  кН.

В рассмотренном примере оказалось, что опорное колесо плуга перегружено, оно увеличит тяговое сопротивление плуга более чем на один килоньютон и ускорит износ своих подшипников. Надо бы изменить высоту расположения точек присоединения плуга к трактору при помощи приспособления к навесной системе, но в какую сторону и насколько – пока неизвестно.

Проанализировав несколько вариантов кинематических схем навешивания плуга, мы предлагаем табличную зависимость тягового сопротивления плуга и силы, действующей на опорное колесо, от высоты расположения точек навески на плуге (см. табл.).

Разложение силы тяги плуга при различной высоте расположения точек навески

Высота присоединительных шарниров над дном борозды, мм		Тяговое сопротивление плуга, $R_x$ , кН	Сила давления колеса на почву, $R_k$ , кН	Увеличение сцепного веса трактора, кН
Верхняя тяга	Нижние тяги			
1550	670	30,5	7,2	7,1
1490	610	30,4	6,0	7,7
1310	430	29,9	4,2	10,0
1150	400	29,3	2,0	12,1

За счет регулирования по высоте расположения точек навески плуга на трактор удалось уменьшить тяговое сопротивление плуга и улучшить тягово-сцепные свойства трактора без балластирования [6] колёс трактора.

### Выводы

Данные, приведенные в таблице, показывают, что при хорошем техническом состоянии лемехов сила давления опорного колеса на почву всегда положительна, то есть плуг устойчиво выдерживает заданную глубину погружения.

Действующие силы уменьшаются с понижением точек навешивания плуга на трактор, а тяговые свойства трактора улучшаются за счёт увеличения его сцепного веса.

Опускать цапфы ниже 400 миллиметров от дна борозды нежелательно из-за возможного касания поверхности почвы нижними тягами трактора.

При износе лемехов сила давления опорного колеса на почву будет уменьшаться, и при нулевом её значении плуг потеряет устойчивость по глубине хода рабочих органов. В этом случае необходимо поднять гидроцилиндром дополнительную рамку навесной системы на 100-120 мм.

Таким образом, при проектировании навесного плуга следует располагать присоединительные цапфы на минимальном расстоянии от поверхности почвы, а по мере износа лемехов приподнимать их дополнительными возможностями навесной системы.

## Библиографический список

1. Василенко В.В. Теория и расчёт рабочих органов сельскохозяйственных машин : курс лекций для студентов вузов, обучающихся по специальности 110304 – Технология обслуживания и ремонта машин в АПК / В.В. Василенко. – Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2007. – 196 с.
2. Гребнев В.П. Совершенствование тягово-сцепных устройств сельскохозяйственных тракторов / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 10. – С. 3-5.
3. Гребнев В.П. Эффективность использования системы автоматического регулирования глубины хода рабочих органов навесных агрегатов / В.П. Гребнев, В.И. Панин // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – № 2. – С. 8-11.
4. Гребнев В.П. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колёса полуприцепных тракторно-транспортных агрегатов / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин, О.Г. Подорванова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – Вып. 3 (38). – С. 56-63.
5. Гребнев В.П. Эффективность оборудования колёсных тракторов тягово-догружающим устройством / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 8. – С. 9-11.
6. Гребнев В.П. Эффективность регулирования степени балластирования колёсных тракторов при работе с навесными машинами / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 10. – С. 19-21.
7. Пат. 2551169 Российская Федерация, МПК А01В 63/10, А01В 63/111, А01В 59/06, А01G 23/00 (2006.01). Навесная система / В.И. Посметьев, В.А. Зеликов, М.А. Латышева, В.М. Посметьева ; заявитель и патентообладатель Посметьев Валерий Иванович. – № 2013137530; заявл. 09.08.2013; опублик. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 6 с.
8. Повышение интенсивности корректирования вертикальных нагрузок на колёса тракторно-транспортного агрегата / В.П. Гребнев, В.И. Панин, А.В. Ворохобин, А.А. Кутузов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2006. – Вып. 13. – С. 112-119.
9. Повышение эффективности использования прицепных тракторно-транспортных агрегатов / В.П. Гребнев, Н.М. Дерканосова, А.В. Ворохобин, Д.Н. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 2 (33). – С. 87-92.
10. Поливаев О.И. Как улучшить тягово-сцепные свойства колёсных тракторов / О.И. Поливаев, В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Сельский механизатор. – 2009. – № 5. – С. 6-7.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### Принадлежность к организации

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-78-61, E-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Валерий Иванович Посметьев – доктор технических наук, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 235-73-08, 8(473) 235-73-11, E-mail: posmetjev@mail.ru.

Сергей Владимирович Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-79-21, E-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Маргарита Александровна Латышева – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-73-11, E-mail: Irita@bk.ru.

Дата поступления в редакцию 16.02.2016

Дата принятия к печати 14.04.2016

## AUTHOR CREDENTIALS

### Affiliation

Vladimir V. Vasilenko – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-78-61, E-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Valery I. Posmetjev – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Machine Production, Maintenance and Operation, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 235-73-08, 8(473) 253-73-11, E-mail: posmetjev@mail.ru.

Sergey V. Vasilenko – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-79-21, E-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Margarita A. Latysheva – Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. of Machine Production, Maintenance and Operation, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-73-11, E-mail: Irita@bk.ru.

Date of receipt 16.02.2016

Date of admittance 14.04.2016