

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 621.8.031:631.312

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_40

Силовой анализ механизма навески пахотного агрегата

Владимир Васильевич Василенко¹, Сергей Владимирович Василенко^{2✉},

Алексей Николаевич Кузнецов³

^{1,2,3}Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

²tuli-fruli@mail.ru✉

Аннотация. Развитие и совершенствование почвообрабатывающих орудий всегда сопровождается полевыми испытаниями новой техники, в ходе проведения которых требуется измерение тягового сопротивления нового орудия. При этом если орудие является навесным, возникают сложности измерения, так как усилие передается тремя звеньями механизма навески. Сведения о силе тягового сопротивления навесного орудия также необходимы для обоснования правильного расположения звеньев навесной системы трактора при конструировании новых моделей и их агрегатировании с трактором. Недавно появившаяся возможность тензометрического измерения сил, действующих в процессе обработки почвы на звенья навесной системы, позволяет оперативно определять тяговое сопротивление и догружающий момент, возникающие при заданном размещении звеньев навесного механизма. Приводится пример графоаналитического расчета силы тягового сопротивления и догружающего момента с целью определения оптимального положения силового звена для уменьшения нагрузок в звеньях и шарнирах, а также для уменьшения буксования колес трактора. Метод расчета включает построение в масштабе механизма навесной системы, нанесение в другом масштабе векторов сил в звеньях механизма, графическое сложение сил и определение оптимального направления вектора силы тяги трактора. Также приведен пример анализа механизма навески трактора К-701 при вспашке плугом на глубину 32 см. При правильном соединении трактора с плугом исчезает догружающий момент, уменьшается тяговое сопротивление плуга и остается единственный вектор силы тяги по аналогии с тросовым соединением. В рассмотренном примере расчета при перестановке тяговых цапф на плуге с высоты 0,63 м до 0,54 м по отношению к лезвию переднего лемеха догружающий момент размером 11 830 Нм исчезает, а суммарное усилие в нижних тягах навесной системы снижается с 52 960 Н до 46 830 Н.

Ключевые слова: тяговое сопротивление, вектор силы, догружающий момент, расположение тяговых цапф, центр сопротивления

Для цитирования: Василенко В.В., Василенко С.В., Кузнецов А.Н. Силовой анализ механизма навески пахотного агрегата // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 1(72). С. 40–47. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_40–47.

TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Analysis of the forces acting on the linkage mechanism of the plowing unit

Vladimir V. Vasilenko¹, Sergey V. Vasilenko^{2✉}, Aleksey N. Kuznetsov³

^{1,2,3}Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

²tuli-fruli@mail.ru✉

Abstract. The development and improvement of tillage tools is always accompanied by field tests of new equipment, during which it is required to measure the traction resistance of a new tool. At the same time, if the tool is mounted, measurement difficulties arise, since the force is transmitted by three links of the linkage mechanism. Information on the traction resistance of the mounted tool is also necessary to substantiate the correct location of the links of the tractor linkage system when designing new models and aggregating them with the tractor. The recently appeared possibility of tensometric measurement of the forces acting on the links of the linkage system in the process of tillage makes it possible to determine the traction resistance and the additional loading moment that occur at a given location of the links of the linkage mechanism. An example of a graphical-analytical calculation of the traction resistance force and additional loading moment is given in order to determine the optimal position of the power link to reduce the loads in the links and hinges, as well as to reduce tractor wheels slipping. The calculation method includes the construction of the linkage system mechanism on a scale,

drawing the force vectors in the links of the mechanism on a different scale, graphical summation of forces and determining the optimal direction of the tractor traction force vector. An example of the analysis of the linkage mechanism of the K-701 tractor when plowing with a plow to a depth of 32 cm is given. When the tractor is properly connected to the plow, the additional loading moment disappears, the traction resistance of the plow decreases, and the only vector of traction force remains, by analogy with a cable bond. In the considered calculation example, when rearranging the traction trannions on the plow from a height of 0.63 m to 0.54 m in relation to the blade of the front plow share, the additional loading moment of 11 830 Nm disappeared completely, and the total force in the lower links of the mounted system decreased from 52 960 N to 46 830 N.

Keywords: tractor traction resistance, force vector, loading moment, location of traction trannions, center of resistance

For citation: Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Kuznetsov A.N. Analysis of the forces acting on the linkage mechanism of the plowing unit. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):40-47. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_40-47.

В ведение

Как известно, вспашка почвы сопряжена со значительными нагрузками на тягловое средство, что требует больших энергетических, материально-технических и трудовых затрат. Снижение тягового сопротивления плугов было и остается актуальной задачей научных изысканий. При этом главное внимание уделяется геометрии и расстановке рабочих органов, но и корректность соединения плуга с трактором играет немаловажную роль. Известны недостатки регулирования тяг навесной системы, которые проявляются в работе перегрузкой передних опорных колес плуга или его неустойчивым ходом по глубине вплоть до выхода из почвы, появлением боковых нагрузок и уводом трактора в сторону.

В процессе совершенствования технологического процесса часто требуется применение дополнительных рабочих органов, например расширительных щитков на плуге [2, 9]. При этом для оценки эффективности нового орудия требуется знать его тяговое сопротивление, условия надежного заглубления и стабильного хода на заданной глубине обработки почвы [1, 10, 13].

Для эффективного использования орудия на различных типах почв и при различной глубине обработки требуется определение направления вектора силы сопротивления орудия и способы его регулирования [3, 15]. Однако трехточечная навесная система тракторов передает усилие от трактора на навесное орудие по трем звеньям, и направление вектора силы тяги, как и его величина, далеко не очевидны. Поэтому закономерно, что при испытаниях новых навесных орудий до последнего времени применяли сложные дополнительные конструкции в навесных системах или промежуточные прицепные блоки для измерения силы тягового сопротивления. Если на навесном орудии три точки соединения с тракторными тягами установлены с неизменяющимися координатами, то управлять вектором силы тяги невозможно. На большинстве тракторов шарниры трех тяг тоже не переставляются, за исключением некоторых зарубежных моделей, у которых верхняя тяга имеет несколько точек установки.

Сравнительно недорогой способ регулирования вектора силы тяги предложили ученые Воронежского государственного лесотехнического университета [6, 7, 8]. Предложенный способ заключается в том, что расстояние по вертикали между верхней и двумя нижними точками присоединения навесного орудия к трактору можно сделать регулируемым для любого навесного орудия. Для этого в конструкцию трактора добавляется приспособление с гидравлическим цилиндром [4, 14]. Оператор может без остановки агрегата изменять при помощи гидроцилиндра место расположения мгновенного центра вращения звеньев механизма навески, в результате чего вектор силы тяги меняет свое направление, заглубляя безопорное орудие [11, 12, 17]. Экспериментальный вариант навесной системы обеспечил дисковому орудью более высокую производительность, лучшее качество работы и более высокую надежность технологического процесса [5, 16].

Постановка задачи

Появившаяся в последние годы возможность тензометрического измерения сил, действующих в тягах навесной системы трактора, позволяет оперативно определять силу сопротивления орудия и догружающий момент, принуждающий его к заглоблению, не прибегая к использованию промежуточной прицепной тележки.

Рассмотрим графоаналитический способ определения силы тягового сопротивления, догружающего момента и оптимальной высоты расположения тяговых цапф на раме плуга. Обычно на небольших плугах до пяти рабочих корпусов применяется жесткая навеска с неподвижным навесным треугольником и жесткой продольной тягой. Такие плуги имеют только одно опорное колесо и не могут в полной мере копировать микрорельеф почвы. Они принудительно удерживают горизонтальность рамы и при неправильной установке цапф либо выходят из почвы всеми корпусами сразу, либо стараются заглобиться, проминая колесом глубокую колею.

При работе с многокорпусными навесными плугами (6–8 корпусов) применяется подвижная система навески, у которой треугольник соединен с рамой шарнирно, а продольная тяга является составной, слегка провисающей при эксплуатации. В данном случае у таких плугов недостатки расстановки цапф влияют только на передние корпуса и передние колеса. У первого из этих двух типов навесной системы силовой анализ звеньев более сложный. Именно для него мы и проведем графоаналитический анализ нагрузок.

В качестве примера рассмотрим следующую ситуацию. Трактор К-701 работает с плугом, у которого жесткая система навески. При глубине вспашки $a = 32$ см зафиксированы средние величины сил в трех звеньях: в двух нижних тягах по 26 480 Н на растяжение и в верхней тяге 6 130 Н на сжатие. Требуется определить тяговое сопротивление плуга, догружающий момент и оптимальную высоту размещения тяговых цапф на плуге.

Графоаналитический анализ и результаты

Сначала вычерчивается в масштабе схема навесной системы и так же в масштабе расставляются силы, действующие в звеньях.

На рисунке 1 показана схема жесткой навесной системы для случая нормального соединения плуга с трактором, когда на виде сверху его центр сопротивления совпадает с осью симметрии трактора, то есть нижние тяги расположены симметрично с одинаковыми углами наклона β_n правой и β_l левой тяг в горизонтальной плоскости и углами α_n и α_l на виде сбоку. Центральная тяга расположена по направлению движения и наклонена в вертикальной плоскости под углом α_v . Все углы измеряются относительно продольной оси трактора.

Целью анализа является определение тягового сопротивления плуга, догружающего момента, если он есть, и оптимального значения высоты установки тяговых цапф в точках A_1 и A_2 .

Поскольку все три тяги навесной системы расположены симметрично относительно продольной оси трактора, анализ можно начинать сразу с продольно-вертикальной плоскости. В принятых масштабах наносятся точки приложения сил и размещаются векторы этих сил: суммарной силы P_n в нижних тягах и силы P_v в верхней тяге (рис. 2).

Суммарная сила P_n вычисляется по выражению

$$P_n = P_n \cdot \cos \beta_n + P_l \cdot \cos \beta_l, \quad (1)$$

где P_n – суммарная сила в двух нижних тягах, Н;

P_n и P_l – силы в правой и левой тягах, Н;

β_n и β_l – углы наклона тяг в горизонтальной плоскости.

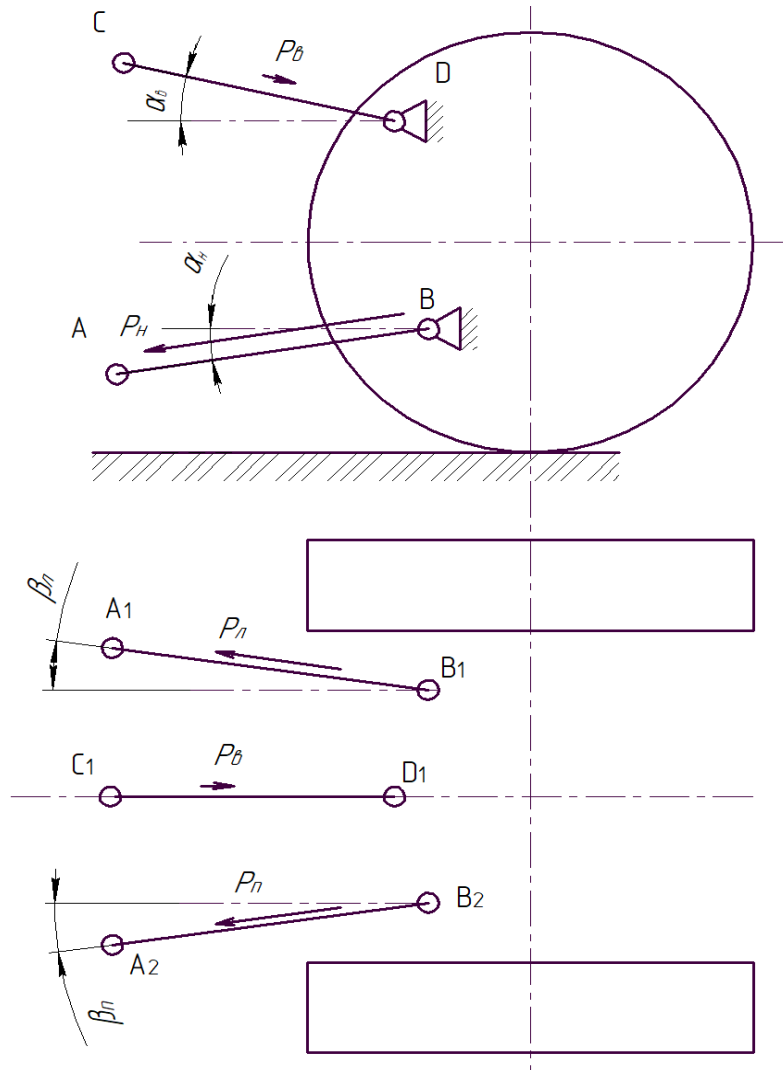


Рис. 1. Расположение тяг навесной системы трактора при вспашке почвы

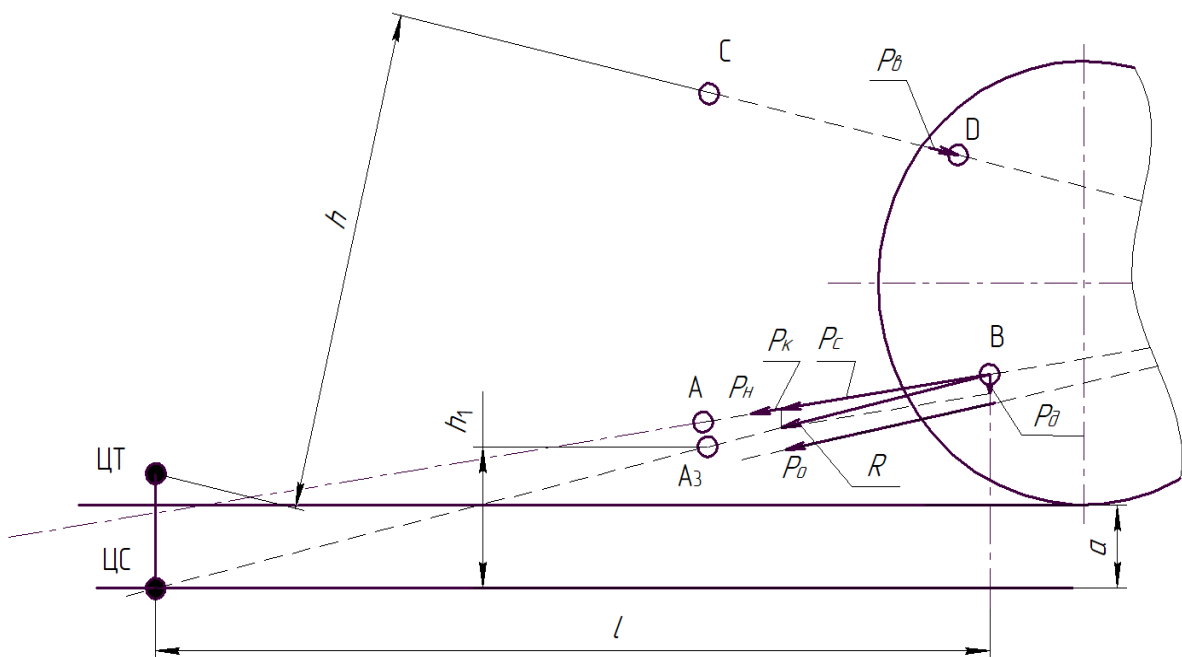


Рис. 2. Построение вектора силы сопротивления плуга

Силы P_n и $P_в$, с которыми плуг действует на трактор, направлены в разные стороны, поэтому они создают не только тяговое сопротивление P_c , но и догружающий момент между шарнирами В и D силами $P_в$ и P_k . При этом, если значения углов $\alpha_в$ и α_n примерно равны, то величины сил $P_в$ и P_k тоже будут одинаковыми.

Появление опрокидывающего, или догружающего, момента в навесной системе является вредным фактором. Он не увеличивает тяговое сопротивление навесного орудия, но создает в тягах и шарнирах навесной системы повышенную напряженность, которая сокращает их срок службы. Кроме того, под действием догружающего момента трактор передает часть своего веса на колеса плуга, которые глубже погружаются в почву и, как следствие, увеличивают сопротивление плуга, при этом трактор теряет свой сцепной вес и увеличивает пробуксовку колес. Поэтому неслучайно существует подвижная система навески, которая исключает появление силы в верхней тяге, но зато требует точного определения высоты расположения тяговых цапф (точка А) на раме навесного орудия.

Сложив графически силу $P_в$, измеренную тензометрически, и силу P_n , вычисленную по выражению (1), в точке пересечения их линий действия, получим общий вектор P_o и перенесем его по линии действия ближе к шарниру В. Вектор P_o оказывается меньше, чем вектор P_n , так как исчезли силы $P_в$ и P_k . Осталась только сила тягового сопротивления P_o , но она не совпадает с нижними тягами ни по высоте расположения, ни по направлению.

Далее для идеального агрегатирования надо было бы перенести шарниры крепления нижних тяг на тракторе и на плуге до совпадения с линией действия вектора P_o . Но если на большинстве моделей плугов и существует регулировка расположения тяговых цапф по высоте, то на тракторах вертикальная перестановка нижних тяг отсутствует, соответственно их надо оставлять на прежних позициях на уровне точки В. При этом исключить появление догружающего момента можно путем создания такого же момента в обратном направлении, что на практике реализуется за счет перестановки тяговых цапф ниже на плуге.

Новое расположение цапф определяется следующим образом.

Передвинем параллельным переносом вектор P_o в точку В и пристроим к нему добавочный вектор P_d , действием которого плуг сопротивляется подъему трактором его передней части.

Находим величину этого дополнительного вектора. Момент силы P_d относительно центра тяжести ЦТ плуга должен быть равен моменту силы $P_в$ относительно того же центра:

$$P_d \cdot l = P_в \cdot h, \quad (2)$$

где P_d – дополнительная вертикальная сила, действующая на нижние тяги навесной системы трактора, Н;

l – расстояние от центра тяжести плуга до шарниров нижних тяг на тракторе, м;

$P_в$ – сила в верхней тяге тракторной навесной системы, Н;

h – расстояние от центра тяжести плуга до линии действия силы $P_в$, м.

По уравнению (2) определяем дополнительную силу P_d , складываем ее графически с силой P_o , приложенной в точке В, и получаем результирующий вектор R , на линии действия которого должны находиться тяговые цапфы плуга.

Искомое положение цапф на рисунке 2 обозначено точкой A_3 . В случае, когда плуг правильно спроектирован, центр тяжести и центр сопротивления будут располагаться приблизительно на одной вертикали.

Поскольку оптимальное направление вектора силы тяги должно проходить через центр сопротивления, можно проверить правильность представленных построений, проведя линию действия результирующего вектора R до уровня глубины обработки почвы. Он проходит через центр сопротивления, тогда как вектор зарегистрированной в измерениях силы P_n уходит далеко назад, что и вызывает появление догружающего момента.

Выводы

По результатам тензометрических измерений сил в тягах навесной системы трактора графоаналитическим способом можно определить оптимальное расположение тяг навесной системы, при котором:

- исчезает догружающий момент;
- уменьшается тяговое сопротивление плуга;
- остается единственный вектор силы тяги по аналогии с тросовым соединением.

В приведенном примере расчета при перестановке тяговых цапф на плуге с высоты 0,63 до 0,54 м по отношению к лезвию переднего лемеха догружающий момент размером 11 830 Нм полностью исчезает, а суммарное усилие в нижних тягах навесной системы снижается с 52 960 Н до 46 830 Н.

Список источников

1. Василенко В.В., Посметьев В.И., Василенко С.В. и др. Регулирование устойчивости навесного плуга // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 2(49). С. 125–129. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2016.2.125.
2. Виткалов И.А., Костенко А.А., Василенко В.В. и др. Способы увеличения углов оборота почвенных пластов при вспашке // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 68-й студенческой научной конференции. Ч. IV. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 384–391.
3. Латышева М.А. Исследование влияния регулировочных параметров стандартных навесных устройств тракторов на заглубляющую способность дисковых рабочих органов лесных безопорных орудий // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. № 41. С. 173–181.
4. Латышева М.А. Многозвенная навесная система трактора для агрегатирования его с лесными дисковыми орудиями // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 137–146.
5. Латышева М.А. Результаты экспериментального исследования гидравлического приспособления к навесным устройствам трактора // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 1092–1113.
6. Механизм навески трактора: пат. 2542761 Рос. Федерация. № 2013155880; заявл. 16.12.2013; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6. 4 с.
7. Механизм навески трактора: пат. 2547769 Рос. Федерация. № 2013149770/13; заявл. 06.11.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. 3 с.
8. Навесная система: пат. 2551169 Рос. Федерация. № 2013137530/13; заявл. 09.08.2013; опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14. 4 с.

9. Отвальный плуг для полного оборота пластов: пат. на полезную модель 180446 Рос. Федерация. № 2018106155; заявл. 19.02.2018; опубл. 14.06.2018, Бюл. № 17. 4 с.
10. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Обоснование выбора схемы устройства к навесному механизму трактора при его агрегатировании с дисковыми орудиями // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 94. С. 385–394.
11. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Оценка влияния мгновенного центра вращения навесного механизма трактора на заглубляющую способность дисковых рабочих органов // Воронежский научно-технический вестник. 2014. Т. 3, № 2(8). С. 38–47.
12. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Повышение заглубляющей способности дисковых рабочих органов лесных орудий за счет совершенствования конструкций навесного механизма агрегируемого трактора // Воронежский научно-технический вестник. 2013. Т. 2, № 4(6). С. 84–93.
13. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. и др. Основные причины недостаточной эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов и пути ее повышения // Воронежский научно-технический вестник. 2015. Т. 4. № 3-3(13). С. 45–59. DOI: 10.12737/14008.
14. Посметьев В.И., Зеликов В.А., Латышева М.А. Приспособление к навесному устройству трактора при агрегатировании его с дисковыми орудиями // Воронежский научно-технический вестник. 2014. Т. 3, № 4(10). С. 129–137.
15. Посметьев В.И., Латышева М.А. Анализ эффективности навесных устройств тракторов при агрегатировании их с дисковыми орудиями // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-2(13-2). С. 64–68. DOI: 10.12737/11032.
16. Посметьев В.И., Латышева М.А., Посметьев В.В. Результаты экспериментального исследования приспособления к навесным устройствам серийных тракторов // Воронежский научно-технический вестник. 2015. Т. 4, № 3-3(13). С. 31–45. DOI: 10.12737/14007.
17. Посметьев В.И., Малюкова М.А., Никонов В.О. Расчет устойчивости рыхлителя на этапе заглубления с учетом мгновенного центра вращения звеньев его оборудования // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. 2015. № 1. С. 303–308.

References

1. Vasilenko V.V., Posmetiev V.I., Vasilenko S.V., et al. Regulirovanie ustojchivosti navesnogo pluga [Regulation of stability of the running depth of a mounted plow]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universite = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2016;2(49):125-129. DOI: 10.17238/issn2071-2243. 2016.2.125. (In Russ.).
2. Vitkalov I.A., Kostenko A.A., Vasilenko V.V., et al. Sposoby uvelicheniya uglov oborota pochvennykh plastov pri vspashke [Ways to increase the angles of rotation of soil layers during plowing]. *Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoj nauki: materialy 68-j studencheskoj nauchnoj konferentscii. Ch. IV [Youth vector of development of agrarian science: proceedings of the 68th student scientific conference. Part IV]*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press; 2017:384-391. (In Russ.).
3. Latysheva M.A. Issledovanie vliyaniya regulirovochnykh parametrov standartnykh navesnykh ustrojstv traktorov na zaglublyayushchuyu sposobnost' diskovykh rabochikh organov lesnykh bezopornykh orudij [Investigation of the effect of control parameters of standard devices mounted on tractors deepened ability of disk working bodies of forest unsupported tools]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = Actual Problems of the Forestry Complex*. 2015;41:173-181. (In Russ.).
4. Latysheva M.A. Mnogozvennaya navesnaya sistema traktora dlya agregatirovaniya ego s lesnymi diskovymi orudiyami [Multi-link linkage system of the tractor to mount it with disk forest tools]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*. 2015;1-1:137-146. (In Russ.).
5. Latysheva M.A. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya gidravlicheskogo prispособleniya k navesnym ustrojstvam traktora [Results of experimental studies of a hydraulic tool for ancillary equipment tractor]. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;104:1092-1113. (In Russ.).
6. Mekhanizm naveski traktora [Tractor mounting hinge mechanism]: patent 2542761 Ros. Federatsiya. № 2013155880; заявлено 16.12.2013; опубликовано 27.02.2015, Byul. № 6 = Patent 2542761 Russian Federation. No. 2013155880, claimed 16.12.2013; published 27.02.2015, Bulletin 6. 4 p. (In Russ.).
7. Mekhanizm naveski traktora [Tractor mounting hinge mechanism]: patent 2547769 Ros. Federatsiya. № 2013149770/13; заявлено 06.11.2013; опубликовано 10.04.2015, Byul. № 10 = Patent 2547769 Russian Federation. No. 2013149770/13, claimed 06.11.2013; published 10.04.2015, Bulletin 10. 3 p. (In Russ.).
8. Navesnaya sistema [Hinged system]: patent. 2551169 Ros. Federatsiya. № 2013137530/13; заявлено 09.08.2013; опубликовано 20.05.2015, Byul. № 14 = Patent 2551169 Russian Federation. No. 2013137530/13, claimed 09.08.2013; published 20.05.2015, Bulletin 14. 4 p. (In Russ.).
9. Otval'nyj plug dlya polnogo oborota plastov [Moldboard plow for a full turnover of layers]: patent na poleznuyu model' 180446 Ros. Federatsiya. № 2018106155; заявлено 19.02.2018; опубликовано 14.06.2018, Byul. № 17 = Utility Model Patent 180446 Russian Federation. No. 2018106155; claimed 19.02.2018; published 14.06.2018, Bulletin 17. 4 p. (In Russ.).

10. Posmetiev V.I., Zelikov V.A., Latysheva M.A. Obosnovanie vybora skhemy ustrojstva k navesnomu mekhanizmu traktora pri ego agregirovanii s diskovymi orudiyami [Justification of the choice of the scheme of the device to the hinged mechanism of the tractor when it is aggregated with disk tools]. *Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2013;94:385-394. (In Russ.).

11. Posmetiev V.I., Zelikov V.A., Latysheva M.A. Otsenka vliyaniya mgnovennogo centra vrashcheniya navesnogo mekhanizma traktora na zaglublyayushchuyu sposobnost' diskovykh rabochikh organov [Assessment of the impact of the instantaneous center of rotation mounted on tractor attachment mechanism on the deepening ability of disk working bodies]. *Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij vestnik = Voronezh Scientific and Technical Journal*. 2014;2(8):38-47. (In Russ.).

12. Posmetiev V.I., Zelikov V.A., Latysheva M.A. Povyshenie zaglublyayushchej sposobnosti diskovykh rabochikh organov lesnykh orudij za schet sovershenstvovaniya konstruktsij navesnogo mekhanizma agregiruемого traktora [Increase of deepening capacity of disk working bodies of forest tools due to improvement of designs of the hinged mechanism of the aggregated tractor]. *Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij vestnik = Voronezh Scientific and Technical Journal*. 2013;4(6):84-93. (In Russ.).

13. Posmetiev V.I., Zelikov V.A., Latysheva M.A., et al. Osnovnye prichiny nedostatochnoj effektivnosti lesnykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatov i puti ee povysheniya [Main reasons of the insufficient efficiency of forest tillage machines and ways of its improving]. *Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij vestnik = Voronezh Scientific and Technical Journal*. 2015;3-3(13):45-59. DOI: 10.12737/14008. (In Russ.).

14. Posmetiev V.I., Zelikov V.A., Latysheva M.A. Prispособlenie k navesnomu ustrojstvu traktora pri agregirovanii ego s diskovymi orudiyami [Adaptation to the hitch of the tractor when aggregating it with disk tools]. *Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij vestnik = Voronezh Scientific and Technical Journal*. 2014;4(10):129-137. (In Russ.).

15. Posmetiev V.I., Latysheva M.A. Analiz effektivnosti navesnykh ustrojstv traktorov pri agregirovanii ikh s diskovymi orudiyami [Analysis of the effectiveness of hitch tractor unitized them with disc tools]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2015;2-2(13-2):64-68. DOI: 10.12737/11032. (In Russ.).

16. Posmetiev V.I., Latysheva M.A., Posmetiev V.V. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya prispособleniya k navesnym ustrojstvam serijnykh traktorov [The results of an experimental study of the adaptation of the hitch of serial tractors]. *Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij vestnik = Voronezh Scientific and Technical Journal*. 2015;3-3(13):31-45. DOI: 10.12737/14007. (In Russ.).

17. Posmetiev V.I., Malyukova M.A., Nikonov V.O. Raschet ustojchivosti rykhlytelya na etape zaglubleniya s uchetom mgnovennogo tsentra vrashcheniya zven'ev ego oborudovaniya [Calculation of stability during rippers recessed with due regard to instantaneous rotation center of its equipment links]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Vysokie tekhnologii. Ekologiya = Scientific Newsletter of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. High-tech Solutions. Ecology*. 2015;1:303-308. (In Russ.).

Информация об авторах

V.B. Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», vladva.vasilenko@yandex.ru, smachin@agroeng.vsau.ru.

S.B. Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», tuli-fruli@mail.ru.

A.H. Кузнецов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», smachin@agroeng.vsau.ru.

Information about the authors

V.V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vladva.vasilenko@yandex.ru, smachin@agroeng.vsau.ru.

S.V. Vasilenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, tuli-fruli@mail.ru.

A.N. Kuznetsov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, smachin@agroeng.vsau.ru.

Статья поступила в редакцию 16.02.2022; одобрена после рецензирования 21.03.2022; принята к публикации 26.03.2022.

The article was submitted 16.02.2022; approved after revision 21.03.2022; accepted for publication 26.03.2022.

© Василенко В.В., Василенко С.В., Кузнецов А.Н., 2022