

# ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЛЬНЫХ ШИН ДВИЖИТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

## OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF RADIAL TIRES OF PROPELLERS OF COMBINE HARVESTERS

**И.М. МЕЛИКОВ**, к.т.н.

Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия, izmelikov@yandex.ru

**I.M. MELIKOV**, PhD in Engineering

M. Dzhambulatov Dagestan State Agricultural University, Makhachkala, Russia, izmelikov@yandex.ru

Статья посвящена решению важной научно-практической задачи – оптимизации параметров конструкции оболочки шин ведущих колес зерноуборочных комбайнов высокой производительности, работающих в условиях поверхностей с малой несущей способностью. Оптимизация параметров пневматической шины как звена колебательной системы и главного элемента колесного движителя является одним из направлений совершенствования функционирования зерноуборочных комбайнов. Одним из факторов, влияющим на показатели функционирования зерноуборочных комбайнов, является совершенство колесных движителей. Их агротехнологические свойства возможно улучшить за счет рационального выбора параметров конструкций шин в зависимости от типа поверхности качения, что также будет способствовать снижению расхода топлива. На основе вышеизложенного целью данной работы является исследование влияния на показатели функционирования зерноуборочных комбайнов характеристик шин, применяемых на ведущих колесах, а также улучшение их агротехнологических свойств за счет оптимизации параметров пневматических шин. Приведены описание, методика и результаты экспериментальных исследований с использованием специально разработанных и обеспечивающих получение достоверных результатов приспособлений для определения деформаций внутренней и внешней оболочек шины относительно обода в окружном и радиальном направлениях, а также контактных давлений и напряжений в почве. На основании теоретических и экспериментальных исследований работы зерноуборочных комбайнов высокой производительности установлено влияние параметров пневматических шин ведущих колес на показатели их функционирования. Определено оптимальное сочетание конструктивных параметров опытной пневматической шины радиальной конструкции для зерноуборочных комбайнов. Результаты исследования позволяют разрабатывать рекомендации по выбору оптимальных параметров пневматических шин, способствующих совершенствованию показателей функционирования зерноуборочных комбайнов, используемых при различных условиях эксплуатации, путем комплектации их ведущих колес шинами радиального типа.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, движитель, шина, оптимизация шины.

The article is devoted to the solution of an important scientific and practical problem - optimization of the tire shell design parameters of the leading wheels of combine harvesters of high productivity, operating in conditions with low bearing capacity. Optimization of the parameters of the pneumatic tire, as a link in the oscillatory system and the main element of the wheel propulsion, is one of the directions for improving the functioning of combine harvesters. One of the factors affecting the performance indicators of combine harvesters is the perfection of wheeled propellers. Their agrotechnical properties can be improved due to a rational choice of tire parameters depending on the type of rolling surface, which will also help to reduce fuel consumption. On the basis of the abovementioned, the aim of this paper is to investigate the effect on the performance of combine harvesters of the characteristics of the tires used on the driving wheels and to improve their agrotechnical properties by optimizing the parameters of the pneumatic tires. The description, methods and results of experimental studies using specially designed and providing reliable results of devices for determining deformations of the inner and outer shells of the tire relative to the rim in the circumferential and radial directions, as well as contact pressures and stresses in the soil are described. On the basis of theoretical and experimental studies of the work of combine harvesters of high productivity, the influence of the parameters of the pneumatic tires of the driving wheels on the performance of them has been established. The optimum combination of design parameters of the experimental pneumatic tire of a radial design for grain harvesters is determined. The results of the research will make it possible to develop recommendations for the selection of optimal parameters for pneumatic tires that contribute to improving the performance of grain harvesters used under various operating conditions by bundling their driving wheels with radial-type tires.

**Keywords:** combine harvester, propeller, tire, tire optimization.

## Введение

Появление на полях страны новых зерноуборочных комбайнов высокой производительности вызвало необходимость решения сложных инженерных задач по разработке способов и методов повышения показателей функционирования их ходовых систем с целью улучшения качества выполняемого комбайнами рабочего процесса, снижения часового расхода горючесмазочных материалов, повышения уровня условий труда операторов, а также уменьшения уплотнения почвы [1–4].

Движитель зерноуборочного комбайна, перекатываясь по почвенному опорному основанию (почве), деформирует ее, перемещает и раздробляет почвенные частицы, в результате чего изменяется водный, воздушный, тепловой режим почв и, как следствие этого, ухудшается агробиологический процесс в почве, что приводит к снижению урожайности [1–4].

Обычно зерноуборочные комбайны высокой производительности, в связи с их большой массой, особенно с полным бункером, комплектуют шинами диагональной конструкции. Однако, как показали исследования, радиальные шины, которые устанавливаются на тракторы, имеют существенные преимущества по деформационным характеристикам перед диагональными шинами [3, 4]. Для эффективного применения радиальных шин на зерноуборочных комбайнах необходимо определить параметры внутреннего строения [2, 5, 6], так как нагрузочные характеристики их движителей значительно отличаются от тракторных.

## Цель исследования

Целью исследования является теоретическое установление и экспериментальное подтверждение возможности улучшения агроэкологических показателей движителей зерноуборочных комбайнов большой производительности путем комплектации их шинами 30,5R-32 с оптимальными параметрами армирования.

Объект исследования – технологические процессы взаимодействия с опорным основанием шин 30,5L-32 и 30,5R-32 при комплектации ими зерноуборочных комбайнов высокой производительности.

Предмет научных исследований – закономерности изменения агротехнологических показателей диагональных и радиальных шин типоразмера 30,5-32 ведущих движителей зерноуборочных комбайнов высокой производительности.

Метод исследования – экспериментальный с использованием «шинного тестера» и специально разработанных приспособлений для определения деформаций шин и почвенного опорного основания.

## Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Для ускоренного проведения научно-исследовательских работ испытания шин типоразмера 30,5-32 проводились на специальных мобильных установках типа «шинный тестер» [7], а также непосредственно на зерноуборочном комбайне во время прямого комбайнирования зерновых колосовых. Комплекс измерительной аппаратуры для экспериментальных исследований позволял фиксировать [1–5] показатели деформации пневматической шины, угол поворота оси колеса, крутящий момент на оси колеса, длину пятна отпечатка шины, напряжения в пахотном и подпахотном горизонтах почвы.

Для определения влияния внутреннего строения шины на показатели функционирования ходовой системы зерноуборочных комбайнов (параметров контакта с почвой и тягово-энергетических показателей) принят комплект из 16 шин 30,5R-32. Варьирование параметров оболочки данного комплекта осуществлено по греко-латинскому (4×4) квадрату [1, 2, 3, 4, 6].

Исходя из условий работы колесного движителя зерноуборочного комбайна (в отличие от тракторного [6]), основное требование к нему заключается в обеспечении минимального уплотняющего воздействия на почву." не закончено. Оно требует завершения, или его нужно перефразировать.

Задача оптимизации параметров конструкции оболочки шин ведущих колес может быть сформулирована в следующем виде – определить такое сочетание слойности и углов наклона нитей корда брекера и каркаса, которое создает максимум площади контакта  $F_{кп}$  при заданных ограничениях момента сопротивления качению  $M_f$ , радиальной деформации  $h_z$ , КПД  $\eta_k$  и коэффициента неравномерности распределения давлений по длине контакта шины  $K_d$ .

В качестве независимых переменных при экспериментальных исследованиях были установлены:

$X_1$  – слойность брекера с задаваемыми значениями:  $a_1 = 2$ ;  $a_2 = 4$ ;  $a_3 = 6$ ;  $a_4 = 8$ ;

$X_2$  – угол наклона нитей корда брекера с задаваемыми значениями:  $b_1 = 70^\circ$ ;  $b_2 = 65^\circ$ ;  $b_3 = 60^\circ$ ;  $b_4 = 55^\circ$ ;

$X_3$  – слойность каркаса с задаваемой величиной:  $c_1 = 2; c_2 = 4; c_3 = 6; c_4 = 8$ .

$X_4$  – угла наклона нитей корда каркаса с задаваемыми значениями:  $d_1 = 0^\circ; d_2 = 5^\circ; d_3 = 10^\circ; d_4 = 15^\circ$ ;

План экспериментальных исследований по данному методу показан в табл. 1.

Таблица 1

План исследований комплекта шин 30,5R-32

|       |     | $a_1$ |     | $a_2$ |     | $a_3$ |     | $a_4$ |
|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| $b_1$ | 1.  | $c_1$ | 2.  | $c_2$ | 3.  | $c_3$ | 4.  | $c_4$ |
|       |     | $d_4$ |     | $d_3$ |     | $d_1$ |     | $d_2$ |
| $b_2$ | 5.  | $c_3$ | 6.  | $c_4$ | 7.  | $c_1$ | 8.  | $c_2$ |
|       |     | $d_3$ |     | $d_4$ |     | $d_2$ |     | $d_1$ |
| $b_3$ | 9.  | $c_2$ | 10. | $c_1$ | 11. | $c_4$ | 12. | $c_3$ |
|       |     | $d_2$ |     | $d_1$ |     | $d_3$ |     | $d_4$ |
| $b_3$ | 13. | $c_4$ | 14. | $c_3$ | 15. | $c_2$ | 16. | $c_1$ |
|       |     | $d_1$ |     | $d_2$ |     | $d_4$ |     | $d_3$ |

Испытания шин проведены на мобильной установке «шинный тестер» [7, 10–12]. Почвенный фон – стерня озимой пшеницы. Нормальная нагрузка на шины  $R = 63$  кН, внутреннее давление воздуха в них  $P_w = 0,176$  МПа.

По результатам измерений были построены регрессионные зависимости вида:

$$y = f(X_1; X_2; X_3, X_4).$$

Для решения такой задачи удобно воспользоваться методами линейного программирования и, в частности, симплекс-методом. Предварительно заметим, что по условию механической прочности каркаса при нагрузке на шину 63 кН и внутреннем давлении воздуха 0,176 МПа минимальное число слоев корда в нем должно составлять шесть ( $X_3 = 6$ ).

По результатам измерений и расчетов получены регрессионные зависимости от конструктивных факторов для следующих показателей шины:

$F_{кп}$  – площадь контакта, м<sup>2</sup>;

$h_z$  – радиальная деформация, мм;

$M_f$  – момент сопротивления качению, Н·м;

$K_d$  – коэффициент неравномерности распределения давлений по длине контакта шины;

$\eta_k$  – коэффициент полезного действия шины.

Путем многофакторного регрессионно-корреляционного анализа [3, 6] установлено, что для шины 30,5R-32 зависимости описаны формальным полиномом первой степени.

Таким образом, необходимо найти максимум  $F_{кп}$ :

$$F_{кп} = 0,00206 X_1 + 0,000358 X_2 - 0,0106 X_3 + 0,00219 X_4 + 0,4722$$

при ограничениях:

$$M_f = -0,0825 X_1 - 0,01055 X_2 + 0,1058 X_3 + 0,00916 X_4 + 2,9676 \leq 3,1;$$

$$\eta_k = -0,002 X_1 + 0,003 X_2 - 0,002 X_3 - 0,003 X_4 + 0,477 \leq 0,8;$$

$$K_d = 0,003541 X_1 + 0,00198 X_2 + 0,00606 X_3 + 0,000388 X_4 + 1,0682 \leq 1,25;$$

$$h_z = -0,124 X_1 + 0,047 X_2 - 0,438 X_3 + 0,131 X_4 + 22,5 \leq 22,5.$$

Зависимость площади контакта шины от конструктивных факторов представлена на рис. 1.

Исследованиями установлено, что при увеличении слойности каркаса с 2 до 8 контактные давления повышаются более чем на 11 %, а такое же изменение слойности брекера приводит к увеличению давлений движителя на почву до 8 %.

Статическими испытаниями шин установлено, что при повышении угла наклона нитей корда каркаса с нуля до 15° давления в пятне контакта колеса увеличиваются более чем на 10,8 %, а увеличение угла нитей корда брекера сопровождается уменьшением радиальной жесткости шины и средних давлений в контактном отпечатке колесного движителя.

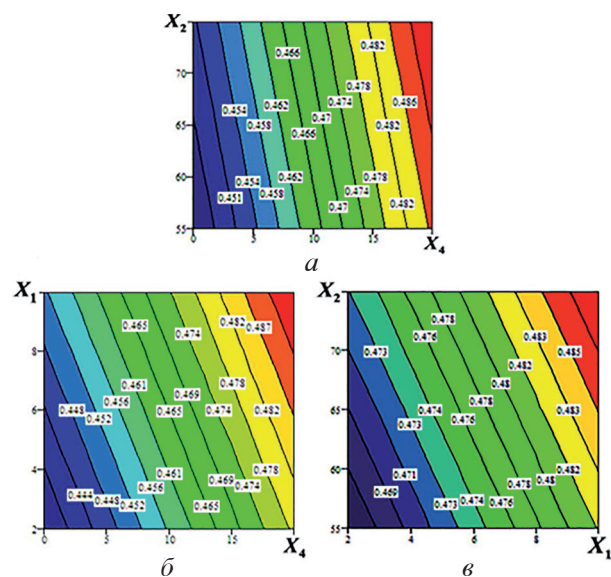


Рис. 1. Зависимость площади контакта шины от конструктивных факторов при  $X_3 = 6$ : а –  $X_1$ ; б –  $X_2$ ; в –  $X_4$

На основе полученных зависимостей составлен алгоритм, по которому написана программа и произведены расчеты с перебором возможных вариантов сочетания исследуемых конструктивных факторов.

В результате аналитического решения данной задачи с учетом принятого ранее  $X_3 = 6$  получены оптимальные значения конструктивных параметров армирования оболочки шины 30,5R-32: число слоев в брекере – 7, в каркасе – 6; угол наклона нитей корда к меридиану в брекере –  $62^\circ$ , в каркасе –  $15^\circ$ , при этом максимальная площадь контакта с почвой такой шины будет равна  $0,478 \text{ м}^2$ , что позволяет получить среднее давление на почву 130 кПа или по скорректированной методике ГОСТ 26953-86 – максимальное давление 162,5 кПа. Такая величина давления позволяет использовать зерноуборочные комбайны высокой производительности согласно ГОСТ 26955-86 при влажности почвы до 0,6 НВ включительно.

В соответствии с программой были проведены экспериментальные исследования уплотняющего воздействия шин (диагональной и радиальной с оптимальным внутренним строением) зерноуборочных комбайнов высокой производительности на почву.

Контурная площадь контакта шины по методике ГОСТ 26953-86 [1, 2, 3, 4], определяемая на жестком основании с помощью «шинного тестера» [7, 10–12], у радиальной шины больше на 13 %, чем у шины диагональной конструкции.

Для измерения давления в контакте шин с почвой устанавливались датчики [3, 8] на равном расстоянии между экваториальной плоскостью шины и ее плечевой зоной на двух-трех соседних грунтозацепах.

Результаты измерений давления на выступах грунтозацепов шин зерноуборочного комбайна с комплектацией диагональными 30,5L-32 и радиальными 30,5R-32 шинами при проведении уборочных работах представлены в таблице 2.

Значения максимальных давлений на почву, полученные по методике ГОСТ 26953-86 [3, 8],

показывают, что максимальные давления меньше на 18 % у радиальной шины по сравнению с шиной диагональной конструкции.

Средние давления по контуру контакта (см. табл. 2) для исследуемых моделей шин различны: большие – у шины 30,5L-32, меньшие – у шины 30,5R-32, причем процентное соотношение по величине давлений такое же, как и по величине площадей контакта. Давление по длине контакта у радиальной шины более равномерное.

Для измерения напряжений в почве использованы датчики напряжений конструкции АЧИМСХ [3, 8, 9]. Датчики напряжений устанавливались в заранее подготовленные ниши вертикальной скважины на различной глубине: 5, 10, 20, 30 и 40 см и 10, 20, 30, 40 и 50 см. В первом случае комбайн с работающей молотилкой наезжал на датчики и останавливался (с целью изучения деформаций, возникающих в почве); во втором случае комбайн с работающей молотилкой проезжал по датчикам, не останавливаясь. На опытном участке вертикальные скважины располагались на расстоянии 25 м друг от друга.

Полученные экспериментальные данные (табл. 3) показывают, что с увеличением глубины установки датчиков максимальные нормальные напряжения в почве уменьшаются.

При этом характер снижения нормальных напряжений в почве для обоих вариантов шин практически идентичен. Однако заметно прослеживается различие воздействия исследуемых шин на пахотный и подпахотный горизонты почвы.

По величине напряжения в пахотном горизонте почвы (0...30 см) преимущество радиальных шин несомненно. Значения напряжений, возникающих в пахотном горизонте почвы (0...30 см) под действием этих шин, более чем на 26 % меньше, чем под диагональными шинами.

Полученные данные показывают, что из двух исследованных шин ни одна не имеет существенного преимущества по величине напряжений в подпахотном горизонте, хотя шины 30,5R-32 более предпочтительны, нежели шины 30,5L-32.

Таблица 2

Параметры контакта шин зерноуборочного комбайна с почвой

| Варианты шин 30,5-32 | Площадь контакта, $\text{см}^2$ | Среднее давление, кПа | Максимальное давление, кПа | Коэффициент неравномерности давлений по длине |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|---|
| 30,5L-32             | 4540                            | 147,4                 | 431,6                      | 1,2   |
| 30,5R-32             | 4680                            | 143,4                 | 417,9                      | 1,1   |

Таблица 3

## Показатели уплотнения почвы зерноуборочными комбайнами

| Варианты шин | Максимальные нормальные напряжения, кПа |     |     |                          |     |    |
|--------------|---|-----|-----|--------------------------|-----|----|
|              | Пахотный горизонт, см                   |     |     | Подпахотный горизонт, см |     |    |
|              | 0                                       | 10  | 20  | 30                       | 40  | 50 |
| 30,5L-32     | 660                                     | 477 | 305 | 185                      | 100 | 52 |
| 30,5R-32     | 484                                     | 350 | 224 | 135                      | 90  | 50 |

Таблица 4

## Показатели агрофизических свойств почвы при прямом комбайнировании озимой пшеницы

| Фон и по следу шин комбайна | Пахотный горизонт                     |                     |                       |              | Подпахотный горизонт                  |                     |                       |              |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
|                             | Плотность сложения, г/см <sup>3</sup> | Общая скважность, % | Скважность аэрации, % | Влажность, % | Плотность сложения, г/см <sup>3</sup> | Общая скважность, % | Скважность аэрации, % | Влажность, % |
| Фон                         | 1,16                                  | 54,5                | 27,6                  | 26,9         | 1,26                                  | 51,9                | 25,7                  | 23,8         |
| 30,5L-32                    | 1,26                                  | 50,2                | 27,3                  | 22,9         | 1,27                                  | 50,7                | 26,0                  | 22,3         |
| 30,5R-32                    | 1,25                                  | 50,7                | 25,9                  | 24,8         | 1,27                                  | 50,7                | 26,1                  | 22,8         |

Физические свойства почвы под воздействием движителей зерноуборочного комбайна высокой производительности изменялись (табл. 4) существенно. Так, плотность сложения почвы в пахотном горизонте увеличилась по сравнению с фоном почти от 7,8 до 8,6 %.

В подпахотном горизонте изменение плотности сложения и влажности почвы по следам движителей по сравнению с фоном незначительно, а между вариантами шин практически отсутствует. Это подтверждается и данными общей скважности и скважности аэрации.

Анализ полученных данных показывает, что плотность сложения и общая скважность почвы в пахотном и подпахотном горизонтах, изменившиеся под воздействием колесных движителей комбайна, не превышают равновесных значений для предкавказского карбонатного чернозема, которые составляют, соответственно, 1,27 г/см<sup>3</sup>, 50,7 %.

Меньшее уплотняющее воздействие на почву оказывает комбайн при комплектации его ведущих колес шинами радиального типа исполнения.

### Выводы

Средние давления по контуру контакта для исследуемых моделей шин различны: большие – у шины 30,5L-32, меньшие – у шины 30,5R-32, причем процентное соотношение по величине давлений такое же, как и по величине площадей контакта. Давление по длине контакта у радиальной шины более равномерное.

Значения максимальных давлений на почву, полученные по методике ГОСТ 26953-86, показывают, что максимальные давления меньше

на 18 % у радиальной шины по сравнению с шиной диагональной конструкции.

Значения напряжений, возникающих в пахотном горизонте почвы (0...30 см) под действием радиальных шин, более чем на 26 % меньше, чем под диагональными шинами.

Плотность сложения почвы при проходе зерноуборочного комбайна в пахотном горизонте увеличилась по сравнению с фоном почти от 7,8 до 8,6 % (большие значения – при комплектации комбайна диагональными шинами).

Рекомендуется устанавливать на зерноуборочных комбайнах большой мощности шины радиальной конструкции.

### Литература

1. Кравченко В.А., Оберемок В.А., Кравченко Л.В. Повышение эффективности МТА на базе колесных тракторов // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 6 (16). С. 45–50.
2. Коптев В.В., Кравченко В.А., Яровой В.Г. и др. Повышение эксплуатационных качеств колесных движителей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. № 5. С. 33–34.
3. Кравченко В.А., Оберемок В.А., Яровой В.Г. Повышение эксплуатационных показателей движителей сельскохозяйственных колесных тракторов: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт, 2015. 212 с.
4. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Шкарлет А.Ф. и др. Совершенствование пневматических шин мобильной сельскохозяйственной техники // Тракторы и сельхозмашины. 2001. № 7. С. 27.
5. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Меликов И.М. Характер деформирования крупногабаритных шин

низкого давления движителей тракторов класса 5 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). 2017. № 132 (08). С. 1230–1241.

6. Кравченко В.А. Оптимизация параметров движителей колесных тракторов // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природоиспользования: материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 31 января – 3 февраля 2017 г. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. Том 3. С. 17–24.
  7. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Годунов М.В., Уржумов К.Н., Запаринный А.В. Шинный тестер: патент на изобретение № 2167402, Российская Федерация. Опубликовано 20.05.2001. Бюл. № 14.
  8. Яровой В.Г., Кравченко В.А., Яламов В.Ф. и др. Методы оценки воздействия на почву колесных движителей сельскохозяйственных машин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 1994. № 3–4. С. 179.
  9. Щеглов А.Н., Яровой В.Г., Бурминский С.Г., Кравченко В.А., Чернышков М.К. Устройство для измерения послойных вертикальных деформаций грунта: авторское свидетельство № 4787635/33, СССР. Опубликовано 30.12.91, Бюл. № 48.
  10. Пархоменко С.Г., Яровой В.Г., Кравченко В.А., Меликов И.М. Шинный тестер: патент на изобретение № 2085891, Российская Федерация. Опубликовано 27.07.97.
  11. Меликов И.М., Яровой В.Г., Яровой А.В., Кравченко В.А., Пархоменко С.Г. Шинный тестер: патент на изобретение № 2092806, Российская Федерация. Опубликовано 10.10.97.
  12. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Пархоменко С.Г., Меликов И.М., Яровой А.В. Шинный тестер: патент на изобретение № 2107275, Российская Федерация. Опубликовано 20.03.98.
- References**
1. Kravchenko V.A., Oberemok V.A., Kravchenko L.V. Increasing the efficiency of machine-tractor units based on wheeled tractors. *Tekhnologiya kole-snykh i gusenichnykh mashin*. 2014. No 6 (16), pp. 45–50 (in Russ.).
  2. Koptev V.V., Kravchenko V.A., Yarovoy V.G. i dr. Improving the performance of wheeled propellers. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000. No 5, pp. 33–34 (in Russ.).
  3. Kravchenko V.A., Oberemok V.A., Yarovoy V.G. Povyshenie ekspluatatsionnykh pokazateley dvizhiteley sel'skokhozyaystvennykh kole-snykh traktorov [Increase of operational parameters of propellers of agricultural wheeled tractors: mono-graph]. Zernograd: Azovo-Chernomorskiy inzhener-nyy institute Publ., 2015. 212 p.
  4. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Shkarlet A.F. i dr. Perfection of pneumatic tires of mobile agricultural machinery. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2001. No 7, pp. 27 (in Russ.).
  5. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Melikov I.M. The nature of deformation of large-size low-pressure tires of class 5 tractors. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)* [Polythematical web electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University (KubSAU Scientific Journal)]. 2017. No 132(08), pp. 1230–1241 (in Russ.).
  6. Kravchenko V.A. Optimization of parameters of propellers of wheeled tractors. *Ekologomeliorativnye aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ecological and meliorative aspects of rational nature management: materials of the International Scientific and Practical Conference], Volgograd, 31 yanvarya – 3 fevralya 2017 g. Volgograd: Volgogradskiy GAU Publ., 2017. Vol. 3, pp. 17–24 (in Russ.).
  7. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Godunov M.V., Urzhumov K.N., Zatsarinnyy A.V. Shinnyy tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2167402, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.05.2001. Byul. No 14.
  8. Yarovoy V.G., Kravchenko V.A., Yalamov V.F. i dr. Methods for assessing the impact on the soil of wheeled propellers of agricultural machinery. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 1994. No 3–4, pp. 179 (in Russ.).
  9. Shcheglov A.N., Yarovoy V.G., Burminskiy S.G., Kravchenko V.A., Chernyshkov M.K. Ustroystvo dlya izmereniya posloynnykh vertikal'nykh deformatsiy grunta [Device for measuring layerwise vertical deformations of soil]: avtorskoe svidetel'stvo No 4787635/33, SSSR. Opublikovano 30.12.91, Byul. No 48.
  10. Parkhomenko S.G., Yarovoy V.G., Kravchenko V.A., Melikov I.M. Shinnyy tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2085891, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.07.97.
  11. Melikov I.M., Yarovoy V.G., Yarovoy A.V., Kravchenko V.A., Parkhomenko S.G. Shinnyy tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2092806, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 10.10.97.
  12. Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Parkhomenko S.G., Melikov I.M., Yarovoy A.V. Shinnyy tester [Tire tester]: patent na izobretenie No 2107275, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.03.98.