



# ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

---

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Шарипов В.М.**

Издается с февраля 1930 г.

**8•2017**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Годжаев З.А.**

**Горбачёв И.В.**

**Городецкий К.И.**

**Ерохин М.Н.**

**Жалнин Э.В.**

**Измайлов А.Ю.**

**Ковалёв М.М.**

**Котиев Г.О.**

**Ксенович Т.И.**

**Кутьков Г.М.**

**Лачуга Ю.Ф.**

**Ляшенко М.В.**

**Предигер В.**

**Фомин В.М.**

**Щельцын Н.А.**

**Учредитель**

- Редакция

---

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 18.03.2016 ПИ № ФС77-65085

---

Журнал входит в перечень ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней, а также в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

**Издатель**

Московский Политех

Адрес редакции:

115280, Москва, Автозаводская, 16

Тел. (495) 276-33-67

E-mail: [izdat.mospolytech@yandex.ru](mailto:izdat.mospolytech@yandex.ru)

Сайт: [www.mospolytech.ru](http://www.mospolytech.ru)

НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ		NEW MACHINES AND EQUIPMENT	
<b>Гордеев О.В., Гордеев В.О.</b> Рабочий орган для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур	<b>Gordeev O.V., Gordeev V.O.</b> Working body for loosening the soil in a row between bushes of berry crops		3
<b>Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Громаков А.В., Пахомов В.И.</b> Использование пластика в конструкциях почвообрабатывающих рабочих органов	<b>Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Gromakov A.V., Pakhomov V.I.</b> The use of plastics in the construction of soil-working tools		8
<b>Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Емельянов П.А., Прямов С.Б.</b> Полевые исследования катка-ложеобразователя машины для уборки лука	<b>Sibirev A.V., Aksenov A.G., Emel'yanov P.A., Pryamov S.B.</b> Field research of a roller-scraper bar machine for harvesting onions		15
ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ		THEORY, DESIGN, TESTING	
<b>Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Эдигаров В.Р., Малый В.В.</b> Аналитическое обоснование грузоподъемности пневматических шин для тракторов и сельскохозяйственных машин	<b>Tarasov V.N., Boyarkina I.V., Edigarov V.R., Maly V.V.</b> Analytical justification of the load capacity of pneumatic tires for tractors and agricultural machinery		21
<b>Нетрусов А.Н., Фомин В.М.</b> Композиционные материалы для рабочих колес турбокомпрессоров автотракторных двигателей	<b>Netrusov A.N., Fomin V.M.</b> Composite materials for impellers of the turbocharger of automotive engines		28
<b>Шуханов С.Н.</b> Определение концентрации газа в смазочном материале трансмиссий энергонасыщенных тракторов сельскохозяйственного назначения	<b>Shukhanov S.N.</b> Determination of gas concentration in the lubricant of transmissions of energy-saturated agricultural tractors		37
КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ		QUALITY, RELIABILITY	
<b>Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Хохлов А.Л., Глущенко А.А., Салахутдинов И.Р.</b> Исследования физических свойств рыжиково-масляных смесей для гидравлических систем сельскохозяйственной техники	<b>Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Khokhlov A.L., Glushchenko A.A., Salakhutdinov I.R.</b> Investigations of the physical properties of camelina oil mixtures for hydraulic systems of agricultural machinery		41
АГРОСЕРВИС		AGRICULTURAL SERVICE	
<b>Коченов В.А., Грунин К.Е.</b> Повышение долговечности и износостойкости деталей трибосопряжений ДВС путем изменения их конструктивных особенностей	<b>Kochenov V.A., Grunin K.E.</b> Increase of durability and wear resistance of internal combustion engine parts by changing their design features		47
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА		ECONOMICS, ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING	
<b>Колчин Н.Н., Зволинский В.Н.</b> И вновь о деле чрезвычайной государственной важности	<b>Kolchin N.N., Zvolinskiy V.N.</b> The matter of extreme national importance		53

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу «Пресса России» – индекс 27863, а также в агентствах: «Информнаука», тел. (495) 787-38-73, gladkih@viniti.ru; «Урал-Пресс», тел. (495) 789-86-36, e\_timoshenkova@ural-press.ru; «МК-Периодика», тел. (495) 672-70-89, chernous@periodicals.ru

Перепечатка материалов из журнала возможна при обязательном письменном согласии редакции.  
При перепечатке ссылка на журнал «Тракторы и сельхозмашины» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

За приводимые в статьях факты, точность расчетов и экспериментальных данных,  
а также за точность цитирования и ссылок на источники ответственность несут авторы.

## РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ РЫХЛЕНИЯ ПОЧВЫ В РЯДКЕ МЕЖДУ КУСТАМИ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР

## WORKING BODY FOR LOOSENING THE SOIL IN A ROW BETWEEN BUSHES OF BERRY CROPS

**О.В. ГОРДЕЕВ**, д.т.н.  
**В.О. ГОРДЕЕВ**

ФГБНУ Южно-Уральский научно-исследовательский  
институт садоводства и картофелеводства, Челябинск,  
Россия, valentin.gordeev.92@mail.ru

**O.V. GORDEEV**, DSc in Engineering  
**V.O. GORDEEV**

South Ural Scientific Research Institute of Horticulture  
and Potato Cultivation, Chelyabinsk, Russia,  
valentin.gordeev.92@mail.ru

Технологии по уходу за ягодными плантациями предусматривают использование ручного труда для обработки почвы между кустами растений. Цель исследований – разработка схемы рабочего органа для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур на основе усовершенствованного механизма доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений. Ягодные плантации характеризуются шириной междурядья и расстоянием между кустами, почва в рядке – защитной зоной и зоной обработки. В статье приведены уравнения траектории движения рыхлителя почвы (рыхлительного зуба) между кустами растений. Агротехническим требованиям наиболее близко отвечает траектория в форме удлиненной циклоиды. Максимальная ширина петли удлиненной циклоиды находится на пересечении прямой, по которой катится производящая циклоиду окружность. Приведено уравнение для определения максимальной ширины петли удлиненной циклоиды. Для выбора соответствующего расстоянию между кустами растений радиуса вращения рыхлительного зуба представлена зависимость ширины петли удлиненной циклоиды от радиуса вращения рыхлительного зуба. Приведена схема рабочего органа для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур с усовершенствованным механизмом доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений. Рабочий орган представляет собой вертикальную фрезу с одной асимметричной лопастью. На асимметричной лопасти расположены рыхлительные зубья. Радиус вращения крайнего от оси вращения рыхлительного зуба равен выбранному значению. Расстояние между соседними зубьями, согласно рекомендациям для зубовых борон, 80 мм. Вращение асимметричной лопасти передается от приводного колеса. При движении рабочего органа вдоль рядка рыхлительные зубья, двигаясь по траектории удлиненной циклоиды, плавно входят в пространство между кустами растений и взрыхляют почву.

**Ключевые слова:** рабочий орган, обработка почвы в рядке, ягодные культуры, удлиненная циклоида, петля удлиненной циклоиды, асимметричная лопасть.

Technologies for the care of berry plantations involve the use of manual labor for cultivation of soil between plant shrubs. The aim of the research is to develop a scheme of a working organ for loosening the soil in a row between bushes of berry crops on the basis of an improved mechanism for delivering soil rippers to the space between plant bushes. Berry plantations are characterized by row spacing and the distance between bushes, the soil in a row – by protective zone and a processing zone. In the article the equations of trajectory of movement of a ripper of soil (ripper tip) between bushes of plants are given. The agrotechnical requirements most closely correspond to the trajectory in the form of an elongated cycloid. The maximum width of the loop of the elongated cycloid is at the intersection of the straight line along which the circle producing the cycloid rolls. The equation for determining the maximum width of the loop of an elongated cycloid is given. To determine the radius of rotation of the ripper tip corresponding to the distance between the bushes of plants the dependence of width of loop of an elongated cycloid on the radius of rotation of the ripper tip is presented. The scheme of the working organ for loosening the soil in a row between bushes of berry crops with an improved mechanism for delivering the soil ripper to the space between the bushes of plants is given. The working body is a vertical milling cutter with one asymmetrical blade. On the asymmetrical blade ripper tips are located. The radius of rotation of the ripper tip, which is the extremity of the rotation axis, is equal to the selected value. The distance between adjacent ripper tip in accordance with the recommendations for ripper tips of harrows is 80 mm. The rotation of the asymmetrical blade is transmitted from the drive wheel. When the working body moves along the row, ripper tips moving along the trajectory of the elongated cycloid smoothly enter the space between the bushes of plants and loosen the soil.

**Keywords:** working body, soil cultivation in a row, berry crops, elongated cycloid, loop elongated cycloid, asymmetric blade.

## Введение

Из литературных источников известно, что технологии по уходу за ягодными плантациями предусматривают использование ручного труда (мотыжение) для обработки почвы между кустами ягодных культур первые три-четыре года после посадки [1].

Система производства, переработки и доведения до потребителя ягод в нечерноземной зоне России [2] в технологической карте по уходу за черной смородиной в 1-й и 2-й год вегетации предусматривает в качестве работ по обработке почвы трехкратное мотыжение в рядах вручную. Этот вид работ предусмотрен также при уходе за малиной, как до плодоношения, так и за плодоносящей плантацией, при уходе за крыжовником 1–3-го года вегетации.

Аналогично селекционер по ягодным культурам Ильин В.С. в своей книге о смородине рекомендует мотыжение в рядках [3].

Если технология предусматривает мотыжение в рядках вручную, то, соответственно, машин для этой технологической операции нет или они есть, но дорогостоящие западные аналоги.

Многих фермеров отсутствие механизированного ухода за почвой в рядке до плодоношения останавливает от посадки и производства ягод. Особенно в первые годы посадки сорняки сильно угнетают молодые насаждения, и большая их часть может погибнуть.

## Цель исследования

Целью исследования является разработка схемы рабочего органа для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур на основе усовершенствованного механизма доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений.

## Материалы и методы

Известны приспособления к рабочим органам культиваторов для одновременной междурядковой обработки почвы с установленными на вертикальных поворотных валах рыхлителей почвы с промежуточными гидроцилиндром и пружинным компенсатором, управляемых рычажными шупами [4, 5].

Однако такие приспособления достаточно сложны конструктивно и в управлении автоматов переключений. Механизмом доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений включает гидроцилиндр. Плавность

хода штока гидроцилиндра зависит от многих факторов: износа гидрораспределителя, оборотов двигателя и времени реакции автоматов управления.

Ягодные плантации характеризуются шириной междурядья и расстоянием между кустами растений в рядке. Почва в рядке между кустами растений характеризуется двумя зонами: зоной, в которой почва должна обрабатываться, и защитной зоной, в которой почва не должна обрабатываться.

Для последующих рассуждений расстояние между кустами растений в рядке обозначим через  $L$ , защитную зону в рядке – через  $z$  и зону обработки почвы в рядке – через  $b$  (рис. 1). Расстояние между кустами ягодных культур и защитная зона задаются агротехническими требованиями [2].

Соответственно, зона обработки почвы в рядке или длина обработки почвы рыхлителем почвы, например рыхлительным зубом, –  $b = L - z$ .

При движении почвообрабатывающего агрегата по междурядьям ягодных культур рабочий орган для обработки почвы в рядке, например рыхлительный зуб, должен, периодически меняя траекторию движения, плавно заходить (въезжать) в пространство между кустами, обработать почву в зоне обработки –  $b$  и выходить (выезжать). Наиболее близко такую траекторию доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений в рядке описывает циклоида (рис. 1).

Циклоида [6] определяется кинематически как траектория фиксированной точки производящей окружности радиуса  $r$ , катящейся без скольжения по прямой. Ось  $Ox$  совпадает с прямой, по которой катится производящая циклоиду окружность.

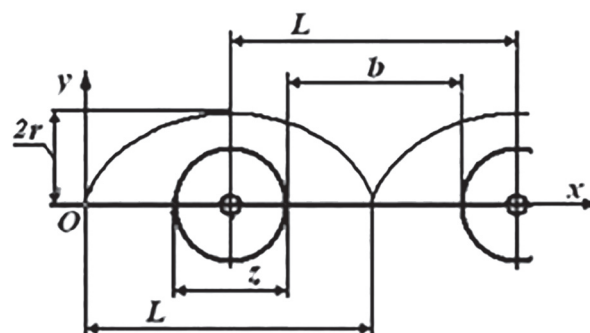


Рис. 1. Параметры ягодных плантаций и траектория циклоиды между кустами растений

Уравнение циклоиды в параметрической форме:

$$\begin{cases} x = r\varphi - r \sin \varphi \\ y = r - r \cos \varphi \end{cases},$$

где  $r$  – радиус циклоиды;  $\varphi$  – угол поворота *производящей* окружности.

Расстояние между кустами ягодных культур в рядке приравняем к длине окружности циклоиды:

$$L = 2\pi r.$$

Тогда радиус *производящей* окружности, или радиус циклоиды, при заданном расстоянии между кустами ягодных культур:

$$r = \frac{L}{2\pi}.$$

В зоне обработки почвы  $b$  рабочий орган – рыхлительный зуб – должен не только заходить и выходить в пространство между кустами ягодных растений, но и обработать, взрыхлить почву между защитными зонами кустов. Этому требованию соответствует траектория удлиненной циклоиды.

Кривая [6], которую описывает точка, закрепленная вне *производящей* окружности, называется удлиненной циклоидой (рис. 2).

Уравнение удлиненной циклоиды в параметрической форме:

$$\begin{cases} x = r\varphi - R \sin \varphi \\ y = r - R \cos \varphi \end{cases}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус вращения точки, закрепленной вне *производящей* окружности.

Для качественной обработки почвы между кустами растений в рядке ширина петли удлиненной циклоиды должна соответствовать длине участка обработки в зоне обработки

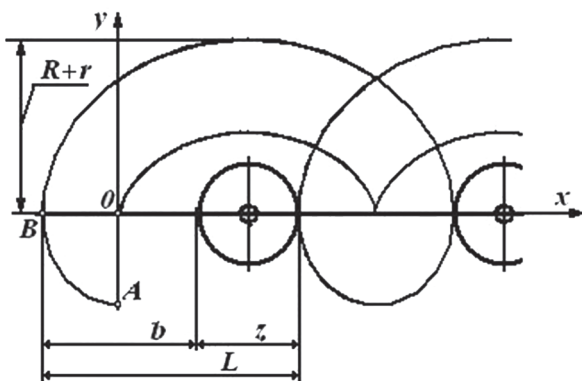


Рис. 2. Траектория циклоиды и удлиненной циклоиды между кустами ягодных растений

почвы  $b$ . Исходя из этого определим радиус вращения рыхлительного зуба. Минимальный радиус вращения должен быть больше защитной зоны  $z$ . Защитная зона по мере роста и развития растений увеличивается по агротехническим требованиям, т.к. увеличиваются размеры куста и корневой системы растений.

При движении *производящей* окружности циклоиды в направлении оси  $Ox$ , рыхлительный зуб, закрепленный вне *производящей* окружности, вращаясь с радиусом  $R$ , перемещается противоходом из точки  $A$  в точку максимального удаления  $B$ . Проекция этого участка петли на ось  $Ox$  равна половине длины ширины петли удлиненной циклоиды. В точке  $B$  производная  $dx/d\varphi$  равняется нулю. Угол поворота *производящей* окружности  $\varphi_1$ , соответствующий этому положению, определяется из соотношения:

$$dx / d\varphi = r - R \cos \varphi_1 = 0, \quad (2)$$

откуда  $\cos \varphi_1 = \frac{r}{R}$  и  $\varphi_1 = \arccos \frac{r}{R}$ .

Сопоставляя выражения (1) и (2), видим, что нулевому значению производной  $dx/d\varphi$  в точке  $B$  соответствует нулевое значение ординаты  $y_B = 0$ . При пересечении траектории рыхлительного зуба с осью  $Ox$  производная  $dx/d\varphi$  изменит свой знак. Точка  $B$  находится на оси  $Ox$  на прямой, по которой катится *производящая* циклоиду окружность. Соответственно, максимальная ширина петли удлиненной циклоиды находится на прямой, по которой катится *производящая* удлиненную циклоиду окружность. При этом половина получившейся ширины петли удлиненной циклоиды равна:

$$x_B = r\varphi_1 - R \cos \varphi_1 = r \cdot \left( \arccos \frac{r}{R} - 1 \right).$$

Тогда длина участка обработки рыхлительным зубом будет равна максимальной ширине петли удлиненной циклоиды:

$$b = 2x_B = 2r \cdot \left( \arccos \frac{r}{R} - 1 \right).$$

На рис. 3 представлена графическая зависимость ширины петли удлиненной циклоиды (длины участка обработки) от радиуса вращения  $R$  рыхлительного зуба для циклоиды с радиусом  $r$ , соответствующим расстоянию между кустами ягодных культур в рядке  $L = 1$  м.

Схема рабочего органа для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур с ус-

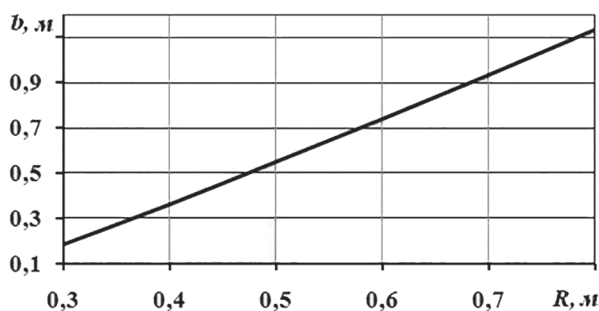


Рис. 3. Зависимость ширины петли удлиненной циклоиды от радиуса вращения рыхлительного зуба рабочего органа

вершенствованным механизмом доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений представляет собой вертикальную фрезу с одной асимметричной лопастью (рис. 4).

При размещении растений ягодных культур в рядке на расстоянии друг от друга в один метр защитная зона в первый год посадки около растения составляет 0,3–0,4 м. Соответственно, для обработки почвы между кустами растений длиной, равной зоне обработки  $b = 0,6–0,7$  м, выбираем радиус вращения крайнего рыхлительного зуба  $R = 0,55–0,58$  м.

На асимметричной лопасти рабочего органа расположены рыхлительные зубья. Радиус крайнего от оси вращения лопасти рыхлительного зуба равен выбранному (рис. 4) значению  $R$ . Расстояние между соседними зубьями, согласно рекомендациям Босого Е.С. [7], – 80 мм для зубовых борон.

Вращение асимметричной лопасти рабочего органа передается от приводного колеса. Передаточное число от приводного колеса к валу асимметричной лопасти рабочего органа:

$$i = \frac{R_k}{r},$$

где  $R_k$  – радиус приводного колеса;  $r$  – радиус производящей циклоиду окружности.

При движении рабочего органа вдоль рядка ягодных культур рыхлительные зубья, двигаясь по траектории удлиненной циклоиды,

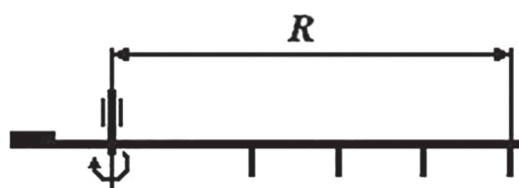


Рис. 4. Схема рабочего органа для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур

плавно входят в пространство между кустами растений и взрыхляют почву в зоне обработки.

Разработанная схема рабочего органа, с вертикальной асимметричной лопастью доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений в рядке, может быть использована для разработки рабочих органов для обработки почвы между растениями в рядке не только садовых культур, но и пропашных культур (кукуруза, свекла).

## Заключение

Разработана схема рабочего органа для рыхления почвы в рядке между кустами ягодных культур с усовершенствованным механизмом доставки рыхлителя почвы в пространство между кустами растений вертикальной фрезой с асимметричной лопастью. Для выбора радиуса вращения крайнего рыхлительного зуба асимметричной лопасти представлена графическая зависимость ширины петли удлиненной циклоиды от радиуса вращения рыхлительного зуба рабочего органа, исходя из расстояния между кустами ягодных культур в рядке.

## Литература

1. Гордеев О.В. Проблемы обработки почвы между кустами ягодных культур и, в частности, смородины черной // Проблемы научного обеспечения садоводства и картофелеводства: сборник трудов научно-практической конференции, посвященной 85-летию ФГБНУ ЮУНИИСК. ФГБНУ «Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства», 2016. С. 193–195.
2. Куликов И.М. и др. Система производства, переработки и доведения до потребителя ягод в нечерноземной зоне России / Под общ. ред. И.М. Куликова. М.: ВСТИСП, 2005. 172 с.
3. Ильин В.С. Смородина. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд., 2007. 195 с.
4. Пилюгин Л.М., Клименко В.И., Матвеев В.А. Культиватор для одновременной обработки почвы в междурядьях и в рядках древесных культур и ягодных кустарников: а.с. № 148618, СССР. Опубликовано 1962. Бюл. № 13.
5. Наумов В.А. Приспособление к виноградным плугам-культиваторам для междустовой обработки почвы: а.с. № 145396, СССР. Опубликовано 1962. Бюл. № 5.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1986. 544 с.

7. Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И., Султан-Шах Е.Г. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Под ред. Е.С. Босого. М.: Машиностроение, 1977. 568 с.

## References

1. Gordeev O.V. Problems of soil cultivation between bushes of berry crops and in particular black currant. Problemy nauchnogo obespecheniya sadovodstva i kartofelevodstva: sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu FGBNU YuUNIISK. FGBNU «Yuzhno-Ural'skiy nauchno-issledovatel'skiy institut sadovodstva i kartofelevodstva» [Problems of scientific provision of gardening and potato growing: a collection of proceedings of a scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the FGBNU YUNUNISK. FGBNU «South Ural Scientific Research Institute of Horticulture and Potato Cultivation»], 2016, pp. 193–195 (in Russ.).
2. Kulikov I.M. i dr. Sistema proizvodstva, pererabotki i dovedeniya do potrebitelya yagod v nechernozemnoy zone Rossii [System of production, processing and bringing to the consumer of berries in the non-black soil zone of Russia]. Pod obshch. red.

- I.M. Kulikova. Moscow: VSTISP Publ., 2005. 172 p.
3. Il'in V.S. Smorodina [Currant]. Chelyabinsk: Yuzh.-Ural. kn. izd. Publ., 2007. 195 p.
  4. Pilyugin L.M., Klimenko V.I., Matveev V.A. Kul'tivator dlya odnovremennoy obrabotki pochvy v mezhduryad'yakh i v ryadkakh drevesnykh kul'tur i yagodnykh kustarnikov [Cultivator for simultaneous processing of soil between rows and in rows of tree crops and berry bushes]: a.s. No 148618, SSSR. Opublikovano 1962. Byul. No 13.
  5. Naumov V.A. Prispособlenie k vinogradnym plugam-kul'tivatoram dlya mezhkustovoy obrabotki pochvy [Adaptation to grape-cultivators for inter-soil tillage]: a.s. No 145396, SSSR. Opublikovano 1962. Byul. No 5.
  6. Bronshteyn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vuzov [Handbook on mathematics for engineers and university students]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 544 p.
  7. Bosoy E.S., Vernyaev O.V., Smirnov I.I., Sultan-Shakh E.G. Teoriya, konstruktsiya i raschet sel'skokhozyaystvennykh mashin [Theory, design and calculation of agricultural machinery]. Pod red. E.S. Bosogo. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977. 568 p.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКА В КОНСТРУКЦИЯХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

## THE USE OF PLASTICS IN THE CONSTRUCTION OF SOIL-WORKING TOOLS

**Г.Г. ПАРХОМЕНКО**, к.т.н.

**И.В. БОЖКО**, к.т.н.

**А.В. ГРОМАКОВ**

**В.И. ПАХОМОВ**, д.т.н.

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград,  
Россия, i.v.bozhko@mail.ru

**G.G. PARKHOMENKO**, PhD in Engineering

**I.V. BOZHKO**, PhD in Engineering

**A.V. GROMAKOV**,

**V.I. PAKHOMOV**, DSc in Engineering

The Federal State Budget Scientific Institution «Agrarian Science  
Center «Donskoy», Zernograd, Russia, i.v.bozhko@mail.ru

Известные рабочие органы для послойной безотвальной обработки почвы характеризуются высокой металлоемкостью, что приводит к увеличению массы конструкции и росту энергозатрат. Целью исследования является снижение затрат энергии на осуществление технологического процесса послойной безотвальной обработки почвы. Благодаря использованию в конструкции новых неметаллических материалов на основе пластика возможно существенное снижение металлоемкости рабочих органов и затрат энергии на осуществление технологического процесса послойной безотвальной обработкой почвы. В статье доказана целесообразность применения пластика в конструкциях рабочих органов для обработки почвы. Выбор пластика должен быть основан на анализе его свойств и характеристик. Толерантны к изменению свойств среды высокомолекулярные соединения пластика с гибкостью полимерной цепи, ограничивающей ее стерические препятствия вращению и взаимодействию групп атомов. Термопласты, получаемые на основе разветвленных полимеров, могут подвергаться повторной переработке. К ним относятся фторопласт и полиэтилен как наиболее соответствующие условиям с/х производства. Разработана конструкция рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы, содержащего стойку с долотом, съемные лемешные лезвия, комкодробитель, упорную плиту и рыхлитель для мелкой обработки. В локальных зонах износа и области повышенного трения рабочего органа монтировали сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкой плотности. Методика оптимизации параметров рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с применением сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности основана на планировании эксперимента по трехфакторному плану Бокса. Установлены наименьшее тяговое сопротивление и минимальные затраты энергии рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с применением сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности при скорости агрегата от 2,8 до 3,0 м/с, угле входа в почву долота от 31,5 до 33,5°, глубине обработки почвы 30–35 см.

**Ключевые слова:** сверхвысокомолекулярный полиэтилен, затраты энергии, рабочий орган, обработка почвы.

The well-known working bodies for layer-by-layer soil-free tillage are characterized by high metal content, which leads to an increase in the weight of the structure and an increase in energy costs. The aim of the study is to reduce energy costs for the implementation of the technological process of layer-by-layer soil-free tillage. Due to the use of new non-metallic materials based on plastics in the design, it is possible to significantly reduce the metal capacity of working bodies and energy consumption for the process of layer-by-layer soil-free tillage. The article proves the expediency of using plastic in the structures of working bodies for soil cultivation. The choice of plastic should be based on analysis of its properties and characteristics. Tolerant to the change in the properties of the medium are high-molecular compounds of plastic with the flexibility of the polymer chain, which limits its steric hindrance to rotation and the interaction of groups of atoms. Thermoplasts obtained on the basis of branched polymers can be re-processed. These include polytetrafluoroethylene and polyethylene as the most appropriate conditions for agricultural production. The design of the working body for layer-by-layer soil-free tillage, containing a rack with a chisel, removable plowshares, crushing machine, thrust plate and ripper for small processing has been developed. In the local wear zones and areas of increased friction of the working body ultra-high molecular low-density polyethylene was mounted. The technique for optimizing the parameters of the working element for layer-by-layer soil-free tillage with the use of ultrahigh-molecular low-density polyethylene is based on the planning of the experiment on the three-factor Box plan. The smallest traction resistance and the minimum energy consumption of the working element for layer-by-layer soil-free tillage with the use of ultrahigh-molecular low-density polyethylene at a unit speed of 2.8 to 3.0 m/s are established; the angle of entry of the bit to soil from 31,5 to 33,5°; the depth of tillage is 30–35 cm.

**Keywords:** ultra-high molecular polyethylene, energy costs, working body, soil cultivation.



## Введение

В настоящее время в с/х машиностроении распространение получают неметаллические материалы, полученные в результате синтеза высокомолекулярных соединений, к которым относятся пластические массы (пластики). Распространение пластиков обусловлено их преимуществом по сравнению с другими конструкционными материалами по основным физико-механическим и эксплуатационным свойствам в условиях с/х производства.

Рабочие органы для послойной безотвальной обработки почвы характеризуются высокой металлоемкостью, что приводит к увеличению массы конструкции и повышенным энергозатратам на осуществление технологического процесса. Благодаря использованию в конструкции новых неметаллических материалов на основе пластика возможно существенное снижение металлоемкости рабочих органов и затрат энергии на осуществление технологического процесса обработкой почвы.

## Цель исследования

Целью исследования является снижение затрат энергии при сохранении качества обработки почвы.

## Материалы и методы

Небольшая масса и незначительное сопротивление обрабатываемой среде пластиков позволяет применять их в качестве элементов конструкций рабочих органов для энергосберегающей обработки почвы, поскольку при этом

сокращается потребляемая мощность энергосредства ввиду уменьшения первой составляющей рациональной формулы Горячкина:

$$P = fG + Kab + \varepsilon abv^2, \quad (1)$$

где  $G$  – вес рабочего органа, Н;  $a$  – глубина обработки почвы, м;  $b$  – ширина захвата рабочего органа, м;  $f$  – коэффициент трения почвы по материалу рабочего органа;  $K$  – коэффициент удельного сопротивления почвы, учитывающий свойства почвы и геометрическую форму рабочего органа, Па;  $\varepsilon$  – скоростной коэффициент, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $v$  – скорость перемещения рабочего органа, м/с.

Поскольку коэффициент трения у пластика ниже, чем у металла, а вес рабочего органа меньше, то первое слагаемое формулы (1) уменьшается.

Классификация пластиков основана на различных принципах: химических свойствах полимера, методах получения и др. (рис. 1).

По методам получения пластики делятся на полученные на основе высокомолекулярных соединений цепной полимеризацией или поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией и полученные на основе природных полимеров химической переработкой или деструкцией органических веществ. Данная классификация не в полной мере отражает специфические особенности пластиков, поскольку не учитывает химические свойства полимерных связующих. По указанному признаку пластики можно разделить на термопласты и реактопласты.

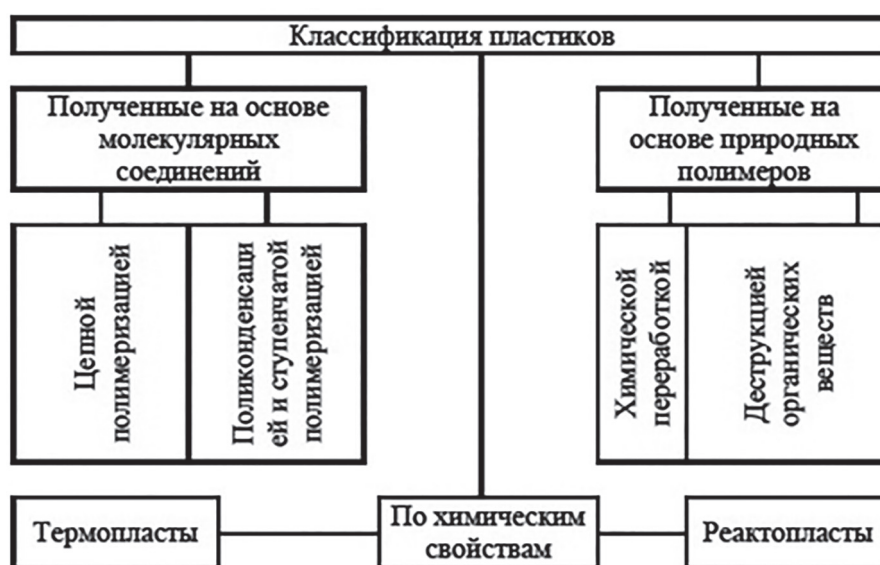


Рис. 1. Классификация пластиков

Выбор пластика для работы в условиях с/х производства должен быть основан на анализе его свойств и характеристик. Например, термопласты получают на основе линейных или разветвленных полимеров и сополимеров, способных при нагревании трансформироваться из твердого в вязкое состояние, не изменяя при этом химической структуры. Элементы из реактопластов изготавливают из технологических полуфабрикатов, представляющих смеси компонентов, в состав которых входит полупродукт полимера, трансформируемый в высокомолекулярное соединение с пространственной структурой макромолекул. Процесс получения реактопластов является необратимым, поэтому они не подвергаются повторной переработке.

Установлено, что толерантны к изменению свойств среды высокомолекулярные соединения пластика с гибкостью полимерной цепи, ограничивающей ее стерические препятствия вращению и взаимодействию групп атомов.

Термопласты, получаемые на основе разветвленных полимеров, могут подвергаться повторной переработке с сохранением основных свойств. К ним относятся полиэтилен и фторопласт.

Полиэтилен несколько уступает фторопласту по отдельным показателям, но по плотности и свариваемости [1] имеет преимущества. Так, плотность полиэтилена (0,92...0,96 г/см<sup>3</sup>), что в 2,2...2,6 раза меньше, чем фторопласта. Поэтому вес конструкции из полиэтилена меньше, чем из фторопласта.

Помимо этого фторопласты обладают свойством хладотекучести, которое приводит к

изменению геометрии рабочего органа при нагрузках. Согласно справочным данным [1], допустимые нагрузки на детали из некоторых фторопластов не должны превышать 3 МПа, что не соответствует исходным требованиям к почвообрабатывающим рабочим органам, функционирующим при твердости пласта до 4 МПа. Зачастую условия функционирования рабочих органов глубокорыхлителей характеризуются экстремально высокой твердостью (до 6 МПа) в засушливых условиях, поэтому не целесообразно устанавливать на них фторопластовые элементы.

На основании ряда исследований [2–6] разработана конструкция рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с применением сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности – термопласта аморфно-кристаллического строения, состоящего из цепных и разветвленных молекул, содержащего стойку с долотом, в передней части которой установлены съемные лемешные лезвия. На долоте закреплен, с возможностью перемещения, комкодробитель и расположена упорная плита. В верхней части стойки смонтирован, с возможностью замены, элемент для мелкой обработки почвы (рыхлитель). Сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкой плотности монтировали в локальных зонах износа и области повышенного трения рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы (рис. 2).

В результате исследований [7] установлено, что при функционировании рабочего органа на экстремальном режиме (глубина более 38 см, твердость более 4 МПа) происходит деформация рыхлителя для мелкой обработки почвы,



*а*



*б*

**Рис. 2. Рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы:**  
*а* – без пластика; *б* – с пластиком

имеющего локальные области концентрации напряжений. Поэтому рыхлитель для мелкой обработки почвы выполнен из сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности, толерантного к концентраторам напряжений. Помимо этого сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкой плотности устанавливался на долоте, комкодробителе и упорной плите рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы.

Это обусловлено тем, что сопротивление разрушению пласта почвы при глубоком рыхлении в боковых расширениях прорези по отношению к единице площади их сечения в несколько раз меньше, чем сопротивление, отнесенное к единице площади перед лобовой поверхностью долота, поскольку при сжатии требуется создать разрушающие напряжения в несколько раз больше, чем при растяжении [8, 9].

Сравнение рабочих органов производилось на основании анализа результатов полевых исследований.

### Результаты и обсуждения

Сравнительная оценка показала, что наиболее качественная обработка почвы осуществлялась рабочим органом для послойной безотвальной обработки почвы с пластиком. После обработки почвы рабочим органом с пластиком поверхность поля более выровненная, лучшее качество крошения пласта (табл. 1).

говое сопротивление, определяющего энергозатраты на осуществление технологического процесса (табл. 3).

В результате экспериментальных исследований по влиянию скорости ( $X_1$ ) перемещения рабочего органа с пластиком, глубины обработки почвы ( $X_2$ ), угла входа в почву долота ( $X_3$ ) на тяговое сопротивление ( $y$ ) получено регрессионное уравнение второго порядка в кодированном виде:

$$y = 7,013 - 0,046 X_1 + 0,779 X_2 + 0,072 X_3 - 0,678 X_1 X_2 + 0,395 X_1 X_3 + 0,31 X_2 X_3 - 0,3X_1^2 + 0,055X_2^2 + 0,542X_3^2.$$

Проверка показала, что по критерию Фишера ( $F = 17,9 < F_{\text{таб}} = 18,99$ ) уравнение является адекватным.

В результате анализа уравнения регрессии установлено, что глубина обработки почвы рабочим органом ( $X_2$ ) оказывает наибольшее влияние и ее увеличение приводит к возрастанию критерия оптимизации. Значительное влияние на критерий оптимизации оказывает и угол входа в почву долота рабочего органа ( $X_3$ ), рост которого приводит к увеличению тягового сопротивления. Характер влияния скорости перемещения рабочего органа ( $X_1$ ) показывает, что с ростом ее значения происходит уменьшение критерия оптимизации (рис. 3).

Таблица 1

Качество крошения пласта рабочими органами для послойной безотвальной обработки почвы

Наименование показателя	Значение по агротребованиям	Значение для рабочего органа	
		без пластика	с пластиком
Количество фракций, %, размером менее 50 мм	60 и выше	76,8	82,0...84,8
Количество фракций, %, размером более 50 мм	Не более 40	23,2	15,2...18,0
Улучшение качества крошения пласта, %			6,8...10,4

Установлено снижение до 18,28 % тягового сопротивления рабочего органа с пластиком (табл. 2).

Внедрение конструкций рабочих органов с пластиком является перспективным направлением повышения энергоэффективности почвообрабатывающих машин [10]. Необходимо выбрать параметры рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с пластиком, обеспечивающие минимальное тя-

Таблица 2

Тяговое сопротивление рабочими органами для послойной безотвальной обработки почвы

Наименование показателя	Значение для рабочего органа	
	без пластика	с пластиком
Тяговое сопротивление, кН	9,3	7,6
Снижение тягового сопротивления, %	–	18,28

Таблица 3

План эксперимента и выходные параметры опытов

№ опыта	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходные параметры (тяговое сопротивление, кН)
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Скорость перемещения рабочего органа, м/с	Глубина обработки почвы, см	Угол входа в почву долота рабочего органа, град.	
1	+1	+1	0	3	35	32,5	6,07
2	+1	-1	0	3	25	32,5	6,09
3	-1	+1	0	2	35	32,5	8,80
4	-1	-1	0	2	25	32,5	6,11
5	0	0	0	2,5	30	32,5	6,80
6	+1	0	+1	3	30	35	8,10
7	+1	0	-1	3	30	30	7,60
8	-1	0	+1	2	30	35	6,12
9	-1	0	-1	2	30	30	7,20
10	0	0	0	2,5	30	32,5	7,04
11	0	+1	+1	2,5	35	35	9,10
12	0	+1	-1	2,5	35	30	7,90
13	0	-1	+1	2,5	25	35	6,70
14	0	-1	-1	2,5	25	30	6,74
15	0	0	0	2,5	30	32,5	7,20

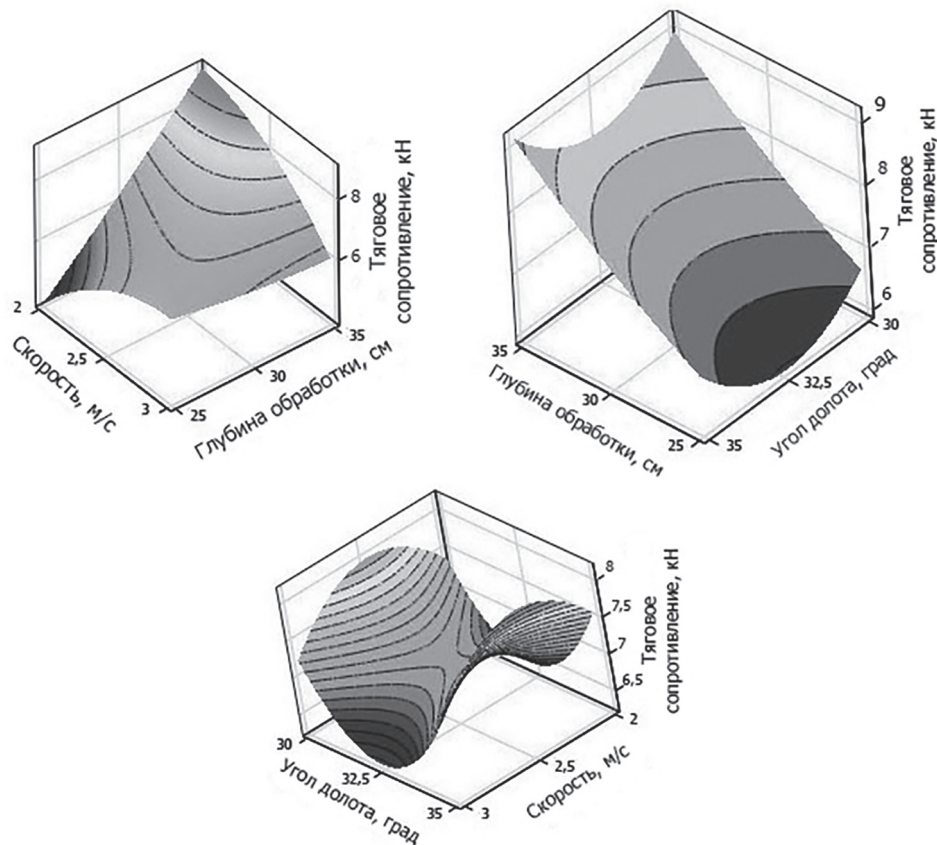


Рис. 3. Поверхности отклика тягового сопротивления

При фиксации значения угла входа в почву долота рабочего органа на уровне  $32,5^\circ$  критерий оптимизации уменьшается с падением скорости перемещения рабочего органа и глубины обработки почвы. Оптимальной областью можно признать интервал значений скорости перемещения рабочего органа от 2,0 до 2,2 м/с и глубины обработки почвы от 25 до 28 см. При фиксации значения скорости перемещения рабочего органа на уровне 2,5 м/с критерий оптимизации последовательно уменьшается с падением глубины обработки почвы в пределах ее варьирования в опыте. Наименьшее значение критерий оптимизации достигает при угле входа в почву долота рабочего органа от  $31,5$  до  $33,5^\circ$  (рис. 4).

При фиксированном значении глубины обработки почвы на уровне 30 см поверхность отклика имеет «седловидную» форму. При этом снижение критерия оптимизации происходит в двух областях поверхности: при скорости перемещения рабочего органа в пределах от 2,0 до 2,2 м/с и от 2,8 до 3,0 м/с для угла входа в почву долота в пределах от  $31,5$  до  $33,5^\circ$ .

С точки зрения увеличения производительности рабочего органа скорость перемещения рабочего органа необходимо устанавливать от 2,8 до 3,0 м/с.

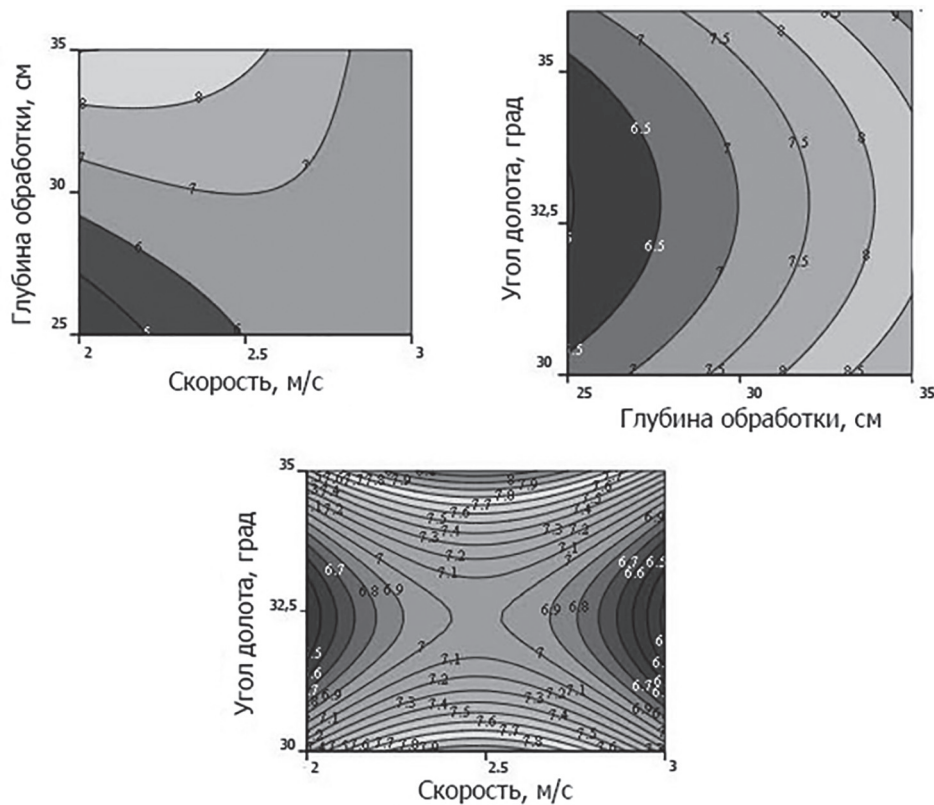


Рис. 4. Сечения поверхностей отклика тягового сопротивления при фиксации одного из факторов

## Выводы

1. Использование сверхвысокомолекулярного полиэтилена в конструкциях рабочих органов обеспечивает снижение тягового сопротивления на 18,3 %, улучшение качества крошения пласта на 6,8...10,4 % и выровненность фона.

2. Оптимальное тяговое сопротивление рабочего органа с пластиком обеспечивается при скорости агрегата от 2,8 до 3,0 м/с, угле входа в почву долота от  $31,5$  до  $33,5^\circ$  и глубине обработки почвы 30...35 см.

## Литература

1. Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Пантюхов И.В., Семенихина Ю.А., Громаков А.В. Предпосылки к использованию инновационных материалов на основе пластика в конструкциях почвообрабатывающих рабочих органов // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 176–183.
2. Пархоменко Г.Г., Божко И.В. Результаты оптимизации формы почвообрабатывающих рабочих органов // Moderni vymoženosti vědy – 2014: Materialy X mezinárodní vědecko-praktická conference – Díl 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014. S. 17–21.
3. Пархоменко Г.Г. Исследование процесса трансформации почвообрабатывающих рабочих орга-

нов // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Т. 1. № 98. С. 142–150.

4. Пархоменко Г.Г. Теория глубокорыхлителя: Расчет взаимодействия рабочих органов с почвой в засушливых условиях. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 88 с.
  5. Божко И.В., Пархоменко Г.Г. Особенности безотвальной послойной обработки почвы в засушливых условиях // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 25–30.
  6. Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В., Семенихина Ю.А., Пантюхов И.В. Ремонтопригодность комбинированных рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 40–44.
  7. Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Громаков А.В. Прогнозирование зоны износа эллиптического кольцевого элемента почвообрабатывающего рабочего органа // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 64–68.
  8. Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. Определение взаимосвязи параметров рабочего органа с качественными показателями технологического процесса глубокой обработки почвы // Вестник аграрной науки Дона. 2008. № 1. С. 45–52.
  9. Пархоменко Г.Г. Исследование чизеля: Сравнительная оценка рабочих органов. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 80 с.
  10. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 3 (18). С. 40–47.
- References**
1. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Pantyukhov I.V., Semenikhina Yu.A., Gromakov A.V. Prerequisites for the use of innovative materials based on plastic in the construction of soil-working tools. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 127, pp. 176–183 (in Russ.).
  2. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V. Results of optimizing the shape of the tillage tools. Moderni vy-
  - mozenosti vědy – 2014: Materialy X mezinarodni vědecko-prakticka conference – Dil 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014, pp. 17–21 (in Russ.).
  3. Parkhomenko G.G. Study of the process of transformation of soil-working tools. Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya sil's'kogo gospodarstva. 2013. Vol. 1. No 98, pp. 142–150 (in Russ.).
  4. Parkhomenko G.G. Teoriya glubokorykhlitelya: Raschet vzaimodeystviya rabochikh organov s pochvoy v zasushlivykh usloviyakh [The theory of deep tiller: Calculation of interaction of working bodies with soil in arid conditions]. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 88 p.
  5. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G. Features of the non-sandwich layer-by-layer tillage in arid conditions. Agrotekhnika i energoobespechenie. 2014. No 1 (1), pp. 25–30 (in Russ.).
  6. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V., Semenikhina Yu.A., Pantyukhov I.V. Repairability of combined working tools for layer-by-layer wasteless tillage. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 123, pp. 40–44 (in Russ.).
  7. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Gromakov A.V. Forecasting the wear zone of the elliptical annular element of the tillage tool. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 118, pp. 64–68 (in Russ.).
  8. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Determination of the relationship between the parameters of the working body and the qualitative indicators of the technological process of deep tillage. Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2008. No 1, pp. 45–52 (in Russ.).
  9. Parkhomenko G.G. Issledovanie chizelya: Sravnitel'naya otsenka rabochikh organov [Chisel study: Comparative evaluation of working bodies]. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 80 p.
  10. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Increasing the energy efficiency of mobile tillage units. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2016. No 3 (18), pp. 40–47 (in Russ.).

## ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТКА-ЛОЖЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ЛУКА

### FIELD RESEARCH OF A ROLLER-SCRAPER BAR MACHINE FOR HARVESTING ONIONS

**А.В. СИБИРЁВ**<sup>1</sup>, к.т.н.

**А.Г. АКСЕНОВ**<sup>1</sup>

**П.А. ЕМЕЛЬЯНОВ**<sup>2</sup>, д.т.н.

**С.Б. ПРЯМОВ**<sup>3</sup>, к.с.-х.н.

<sup>1</sup> ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ», Москва, Россия,

<sup>2</sup> Пензенский государственный аграрный университет,  
Пенза, Россия

<sup>3</sup> ЗАО «Озёры», Московская область, Озёрский район,  
Россия, sibirev2011@yandex.ru

**A.V. SIBIREV**<sup>1</sup>, PhD in Engineering

**A.G. AKSENOV**<sup>1</sup>

**P.A. EMEL'YANOV**<sup>2</sup>, DSc in Engineering

**S.B. PRYAMOV**<sup>3</sup>, PhD in Agriculture

<sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM,  
Moscow, Russia

<sup>2</sup> Penza State Agrarian University, Penza, Russia

<sup>3</sup> CJSC «Ozery», Moscow region, Russia,  
sibirev2011@yandex.ru

Рассматривается вопрос о повышении качественных показателей механизированной уборки лука-севка, обусловленный неудовлетворительным процессом сепарации лукович от прочных почвенных комков, в связи с тем, что применяемые на сепарации щелевые рабочие органы не способны выделить из вороха лука соизмеримые по размерам прочные почвенные комки. Для интенсификации процесса уборки лука-севка при подборе из валков с целью исключения или снижения захвата приемно-подкапывающей частью совместно с луковичами почвенных комков и подачи луко-почвенного вороха на сепарирующие рабочие органы предлагается каток-ложеобразователь в составе машины для первой фазы уборки лука-севка. Представлены конструктивно-технологическая схема и общий вид машины для уборки лука, оснащенной катком-ложеобразователем, интенсифицирующим процесс сепарации лука во второй фазе уборки. Отражена методика проведения полевых исследований экспериментальной машины для уборки лука, а также представлены качественные показатели работы машины в полевых условиях. Лабораторно-полевые исследования экспериментальной машины для уборки лука, оснащенной катком-ложеобразователем, проводились на полях ЗАО «Озёры» Московской области в 2015–2016 гг. на уборке лука сорта «Штутгартер Ризен». Результаты исследований качественной характеристики лукович лука-севка свидетельствуют о том, что полученные показатели являются более высокими у лукович, уложенных на подготовленное ложе и впоследствии убранных из валка самоходным комбайном. Установлено, что при подборе лукович севка из валка, уложенного на неподготовленную поверхность поля лукоуборочной машиной без катка-ложеобразователя, количество сильно поврежденных лукович возрастает до 11,09 %, что в сравнении с подбором лукович из валка с подготовленным и профилированным ложем выше на 5,56 %.

**Ключевые слова:** лук, уборка, почвенные комки, машина для уборки, каток-ложеобразователь, полевые исследования.

The issue of improving the quality of mechanized harvesting of onion set, caused by the unsatisfactory process of separation of bulbs from strong soil lumps, is considered, because the slit working tools used for separation cannot allocate from the heap of onions commensurate in size strong soil lumps. In order to intensify the harvesting process of onion set during selection from rollers in order to exclude or reduce the capture by the receiving-digging part together with the bulbs of soil lumps and the supply of the onion-soil heap to the separating working organs, the roller-scraper bar in the machine is proposed for the first phase of onion harvesting. The constructive technological scheme and the general view of the machine for harvesting onions equipped with a roller-scraper bar, which intensifies the process of onion separation in the second phase of harvesting, are presented. The methods of carrying out field research of an experimental machine for harvesting onions are reflected, as well as qualitative indicators of machine operation in the field. Laboratory and field studies of an experimental machine for harvesting onions equipped with a roller-scraper bar were carried out on the fields of CJSC «Ozery» in the Moscow Region in 2015–2016 when harvesting onion of «Stuttgarter Riesen» variety. The results of research on the qualitative characteristics of onion set bulbs show that these indicators are higher in bulbs laid on a prepared bed and subsequently removed from the roll by a self-propelled combine harvester. It has been established that in the selection of bulbs for sowing from a roll laid on an unprepared surface of a field by a picker without a skating rink, the number of heavily damaged bulbs increases to 11,09 %, which is 5,56 % higher than the selection of bulbs from a roll with a prepared and profiled bed.

**Keywords:** onions, harvesting, soil lumps, harvesting machine, roller-scraper bar, field research.

## Введение

Качественные показатели уборки определяются тем, насколько качественно выполнены предыдущие технологические операции [1]. При уборке лука очень важно поддерживать почву во взрыхленном состоянии, в связи с тем, что применяемые на сепарации целевые рабочие органы не способны отделить почвенные примеси от луковиц, так как он имеет небольшие размеры и при сепарации от почвенных примесей это является трудноотделимыми [2–11].

## Цель исследования

Для интенсификации процесса уборки лука, а именно при подборе луковиц из валков, с целью исключения захвата приемно-подкапывающей частью уборочной машины совместно с луковицами почвенных комков и снижения поступления количества поступления почвенных комков на сепарирующие рабочие органы предлагается каток-ложеобразователь в составе машины для первой фазы уборки лука (рис. 1).

## Методы исследований

Каток-ложеобразователь (рис. 1) включает раму 1, цилиндрический каток 2, сужающий лоток 3 и образователь валка 4. На раме 1 установлен спиральный каток 5 с периферийно расположенной вдоль всей его длины спиральной поверхностью, имеющей форму поперечного сечения в виде сегмента 6, лоток 7 схода примесей, гидродвигатели 8 и 9 [12].

Конструктивное исполнение и технологическая схема экспериментальной машины для уборки лука, оснащенной катком-ложеобразователем, разработаны при взаимодействии ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ» и ЗАО «Озёры», новизна предложенных технических решений подтверждена патентами РФ [13, 14]. Общий вид катка-ложеобразователя машины для уборки лука представлен на рис. 2.

Конструктивно-технологическая схема и общий вид экспериментальной машины для уборки лука, оснащенной катком-ложеобразователем, представлены на рис. 3 и 4.

Экспериментальная машина для уборки лука (рис. 3) состоит из рамы 1, подкапывающего лемеха 2, ходовых колес 3, винтового механизма 4 регулировки глубины подкапывания, дискового ножа 5, основного 6 и вспомогательного 7 сепарирующих элеваторов, ботвопротягивающих 8 и поддерживающих 9 роликов, цилиндрического очистителя 10 по-

чвенных примесей, сужающего лотка 11, образователя валка 12, ботвоудалителя 13 растительных примесей, редуктора 14 привода рабочих органов.

Машина оснащена активными трехплечиковыми встряхивателями 15 на основном 6 и вспомогательном 7 сепарирующих элеваторах и установленным на раме 16 лотком 17 схода примесей с катком-ложеобразователем, состоящим из спирального 18 и цилиндрического 19 вальцов.

Методика экспериментальных исследований соответствовала СТО АИСТ 8.7–2013 «Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей».

Лабораторно-полевые исследования экспериментальной машины для уборки лука, оснащенной катком-ложеобразователем, проводились на полях ЗАО «Озёры» Московской области в 2015–2016 гг. на уборке лука сорта «Штутгартнер Ризен».

Качество работы экспериментальной лукоуборочной машины, оснащенной катком-ложеобразователем, определялось следующим образом.

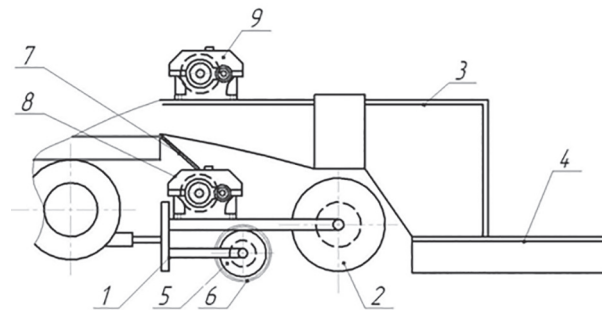


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема катка-ложеобразователя машины для уборки лука



Рис. 2. Общий вид катка-ложеобразователя машины для уборки лука



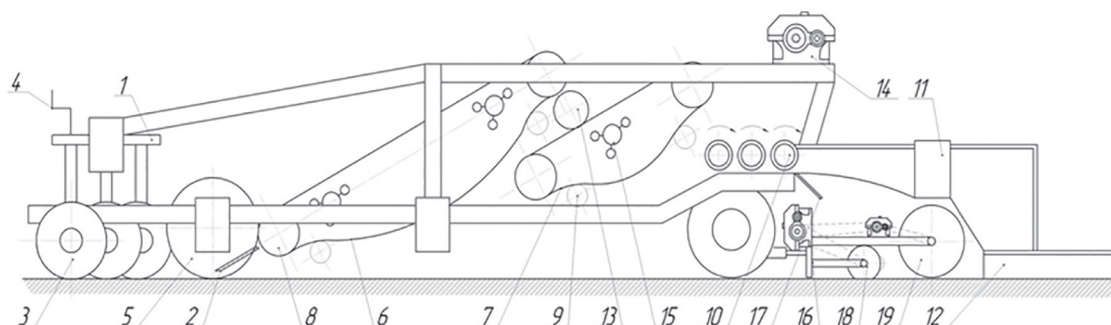


Рис. 3. Конструктивная схема экспериментальной машины для уборки лука

Отведенный для испытаний участок разбивали на несколько делянок, длина которых должна была быть не менее 10 м. Первую экспериментальную делянку намечали не менее, чем через 50 метров от начала прохода. Отбор проб производился без остановки агрегата. Самоходный комбайн Амас модели ZM2 подходил к делянке на рабочей скорости и проходил ее.

В процессе прохождения делянки за комбайном разматывался брезент, на который попадал ворох после сепарации.

### Результаты исследований

Исследования по определению фракционного состава вороха лука-севка [15–17], сходящего с продольного транспортера самоходного комбайна Амас модели ZM2, осуществляющего подбор севка после извлечения его из почвы и укладки в валок лукоуборочной машиной (с катком-ложеобразователем и без него), представлены в табл. 1 и 2.



Рис. 4. Общий вид экспериментальной машины для уборки лука, оснащенной катком-ложеобразователем

Из анализа табл. 1 и 2 можно сделать вывод о том, что содержание почвенных комков в ворохе лука-севка снижается после подбора его из валка, уложенного на предварительное сформированное ложе лукоуборочной машиной, в связи с тем, что происходит измельчение комков почвы, разрыхленных подкапывающим лемехом до размеров, способных просеяться на сепарирующем транспортере подборщика лука-севка.

Таблица 1

Характеристика фракционного состава валка лука-севка сорта «Штутгартер Ризен» на 1 погонном метре

Лукоуборочная машина	Влажность почвы, %	Содержание луковиц в валке, %	Содержание растительных примесей в валке, %	Содержание почвенных примесей в валке, %	Почва		Масса, кг	
					на луковицах	свободная	луковиц	почвенных комков
С катком-ложеобразователем	18,0	94,7	1,6	3,7	1,2	2,5	0,54	0,65
Без катка-ложеобразователя	18,0	85,8	2,1	12,1	2,9	12,2	0,47	0,78

Таблица 2

## Качественная характеристика лука-севка сорта «Штутгартер Ризен» на 1 погонном метре

Номер пробы	Масса луковиц лука-севка, кг				Масса всей пробы
	Стандартные по размеру	Нестандартные			
		по размеру	больные, гнилые, оголенные, проросшие	сильно поврежденные	
Лукоуборочная машина с катком-ложеобразователем					
1	8,4	1,74	6,83	0,88	17,85
2	8,7	0,87	5,75	0,97	16,29
3	7,7	1,45	6,4	0,94	16,49
Сумма, кг	24,8	4,06	18,98	2,79	50,63
Среднее значение, кг	8,26	1,35	6,32	0,93	16,86
Массовая доля, %	48,98	8,01	37,48	5,53	100
Лукоуборочная машина без катка-ложеобразователя					
1	6,3	1,46	5,63	2,44	15,83
2	7,4	0,65	4,95	1,35	14,35
3	7,1	1,05	5,7	1,23	15,08
Сумма, кг	20,8	3,16	16,28	5,02	45,26
Среднее значение, кг	6,93	1,05	5,42	1,67	15,07
Массовая доля, %	45,95	6,98	35,98	11,09	100

Противоположную тенденцию можно наблюдать из анализа фракционного состава валка лука-севка после его подбора из валков, который был уложен на неподготовленную поверхность поля, в связи с чем возрастает количество почвенных примесей в результате повышенного содержания почвенных комков, соизмеримых по размерам с луковицами.

### Выводы

Результаты исследований качественной характеристики луковиц лука-севка свидетельствуют о том, что полученные показатели являются более высокими у луковиц, уложенных на подготовленное ложе и впоследствии убраных из валка самоходным комбайном.

Таким образом, при подборе луковиц севка из валка, уложенного на неподготовленную поверхность поля лукоуборочной машиной без катка-ложеобразователя, количество сильно поврежденных луковиц возрастает до 11,09 %, что в сравнении с подбором луковиц из валка с подготовленным и профилированным ложем выше на 5,56 %.

### Литература

1. Алдошин Н.В., Дидманидзе Р.Н. Инженерно-техническое обеспечение качества механизированных работ. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. 188 с.
2. Алдошин Н.В. Стабильность технологических процессов в растениеводстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 3. С. 5–7.
3. Алдошин Н.В. Анализ технологических процессов в растениеводстве // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 1. С. 34–37.
4. Ларюшин Н.П. Научные основы разработки комплекса машин для уборки и послеуборочной обработки лука: дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 1996. 350 с.
5. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2005. 355 с.
6. Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). М., 1995. 391 с.
7. Кухмазов К.З. Совершенствование технологии и технических средств для производства лука-севка

- ка в условиях Среднего Поволжья: дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2000. 402 с.
8. Ларюшин А.М. Энергосберегающие технологии и техн. средства для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2010. 426 с.
  9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Развитие производств техники для селекции и семеноводства – одна из приоритетных задач сельскохозяйственного машиностроения // Состояние и развитие регионального машиностроения: научное издание. М., 2010. С. 96–103.
  10. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 6. С. 6–10.
  11. Лобачевский Я.П., Емельянов П.А., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Машинная технология производства лука. М.: ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ», 2016. 168 с.
  12. Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Емельянов П.А. Каток-ложеобразователь машины для уборки лука // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Том II. Пенза: РИО ПГСХА, 2017. С. 156–160.
  13. Аксенов А.Г., Прямов С.А., Сибирев А.В. Машина для уборки лука-севка: патент на изобретение № 2585481, Российская Федерация. Опубликовано 27.05.2016. Бюл. № 15.
  14. Аксенов А.Г., Сибирев А.В., Прямов С.Б., Мосяков М.А. Каток-ложеобразователь лукоборочной машины: патент на изобретение № 2601060, Российская Федерация. Опубликовано 27.10.2016. Бюл. № 11.
  15. Кухарев О.Н., Ларюшин А.М., Юртаев С.Е. Влияние схем и густоты посадки лука-севка на урожай. Пенза, 1998. 30 с.
  16. Кухарев О.Н. Некоторые результаты исследования физико-механических свойств лука-севка // Проблемы и перспективы развития АПК в условиях рыночных отношений: сб. науч. трудов. Ч. 3. Животноводство и ветеринарная медицина. Механизация. Агрономия. Мичуринск, 1998. С. 83–85.
  17. Кухарев О.Н. Энергосберегающие технологии ориентированной посадки сельскохозяйственных культур: на примере лука и сахарной свеклы: дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2006. 417 с.
- References**
1. Aldoshin N.V., Didmanidze R.N. Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie kachestva mekhanizirovannykh rabot [Engineering and technical support of the quality of mechanized works]. Moscow: Izdatel'stvo RGAU-MSKhA Publ., 2015. 188 p.
  2. Aldoshin N.V. Stability of technological processes in plant growing. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2007. No 3, pp. 5–7 (in Russ.).
  3. Aldoshin N.V. Analysis of technological processes in plant growing. Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2008. No 1, pp. 34–37 (in Russ.).
  4. Laryushin N.P. Nauchnye osnovy razrabotki kompleksa mashin dlya uborki i posleuborochnoy obrabotki luka: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Scientific basis for the development of a complex of machines for harvesting and post-harvest processing of onions: dissertation for degree of Doctor for Technical Sciences]. Penza, 1996. 350 p.
  5. Protasov A.A. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i tekhnicheskikh sredstv dlya uborki luka: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Perfection of technological processes and technical means for harvesting onions: dissertation for degree of Doctor for Technical Sciences]. Saratov, 2005. 355 p.
  6. Khvostov V.A., Reyngart E.S. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka (teoriya, konstruksiya, raschet) [Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation)]. Moscow, 1995. 391 p.
  7. Kukhmazov K.Z. Sovershenstvovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv dlya proizvodstva luka-sevka v usloviyakh Srednego Povolzh'ya: dis. ... d-ra tekhnicheskikh nauk [Perfection of technology and techn. means for production of onion set in the conditions of the Middle Volga region: dissertation for degree of Doctor for Technical Sciences]. Penza, 2000. 402 p.
  8. Laryushin A.M. Energoberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya uborki luka: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Energy-saving technologies and technical means for harvesting onions: dissertation for degree of Doctor for Technical Sciences]. Penza, 2010. 426 p.
  9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. The development of machinery for selection and seed production as one of the priorities of agricultural engineering. Sostoyanie i razvitie regional'nogo mashinostroyeniya: nauchnoe izdanie [State and development of regional mechanical engineering: scientific publication]. Moscow, 2010, pp. 96–103 (in Russ.).
  10. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. System of machines and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020. Sel'skokhozyaystven-

- nye mashiny i tekhnologii. 2013. No 6, pp. 6–10 (in Russ.).
11. Lobachevskiy Ya.P., Emel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka [Machine technology of onion production]. Moscow: FGBNU «FNATs VIM» Publ., 2016. 168 p.
  12. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Emel'yanov P.A. Roller-scraper bar for harvesting onions. Innovatsionnye idei molodykh issledovateley dlya APK Rossii: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Innovative ideas of young researchers for the AIC of Russia: a collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Vol II. Penza: RIO PGSKhA Publ., 2017, pp. 156–160 (in Russ.).
  13. Aksenov A.G., Pryamov S.A., Sibirev A.V. Mashina dlya uborki luka-sevka [Machine for harvesting onion set]: patent na izobretenie No 2585481, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.05.2016. Byul. No 15.
  14. Aksenov A.G., Sibirev A.V., Pryamov S.B., Mosyakov M.A. Katok-lozheobrazovatel' lukouborochnoy mashiny [Roller-scraper bar for harvesting onions]: patent na izobretenie No 2601060, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.10.2016. Byul. No 11.
  15. Kukharev O.N., Laryushin A.M., Yurtaev S.E. Vliyanie skhem i gustoty posadki luka-sevka na urozhay [The influence of the schemes and the density of the onion set on the harvest]. Penza, 1998. 30 p.
  16. Kukharev O.N. Some results of the study of physical and mechanical properties of onion set. Problemy i perspektivy razvitiya APK v usloviyakh rynochnykh otnosheniy: sb. nauch. trudov. Ch. 3. Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina. Mekhanizatsiya. Agronomiya [Problems and prospects for the development of the agroindustrial complex in the conditions of market relations: collection of scientific works. Part 3. Livestock and veterinary medicine. Mechanization. Agronomy]. Michurinsk, 1998, pp. 83–85 (in Russ.).
  17. Kukharev O.N. Energoberegayushchie tekhnologii orientirovannoy posadki sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: na primere luka i sakharnoy svekly: dis. ... d-ra tekhnicheskikh nauk [Energy saving technologies of oriented planting of crops: on the example of onions and sugar beets: dissertation for degree of Doctor for Technical Sciences]. Penza, 2006. 417 p.

# АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН ДЛЯ ТРАКТОРОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

## ANALYTICAL JUSTIFICATION OF THE LOAD CAPACITY OF PNEUMATIC TIRES FOR TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINERY

**В.Н. ТАРАСОВ**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**И.В. БОЯРКИНА**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**В.Р. ЭДИГАРОВ**<sup>2</sup>, к.т.н.  
**В.В. МАЛЫЙ**<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия

<sup>2</sup> Омский автобронетанковый инженерный институт, Омск, Россия tarasov\_vladimir07@mail.ru

**V.N. TARASOV**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**I.V. BOYARKINA**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**V.R. EDIGAROV**<sup>2</sup>, PhD in Engineering  
**V.V. MALYY**<sup>2</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

<sup>2</sup> Omsk Automobile Armored Engineering Institute, Omsk, Russia, tarasov\_vladimir07@mail.ru

Информация о параметрах и режимах работы пневматических шин для тракторов и сельхозмашин содержится в ГОСТах в виде таблиц в цифровой форме. Многообразие типов, размеров и конструкций шин затрудняет проблему выбора параметров шины с учетом условий и режимов работы. Информация о параметрах шин оказывается недостаточной вследствие отсутствия сведений о площади контакта шины с твердой опорной поверхностью. В статье предложены зависимости грузоподъемности шины от обобщенного геометрического параметра, равного произведению наружного диаметра и ширины профиля шины. Площадь контакта является важным параметром, который влияет на тяговые характеристики трактора, глубину колеи при движении по вспаханному полю и сопротивление движению трактора.

Введены новые понятия – теоретическая и действительная площади контакта пневматической шины. Получена зависимость теоретической площади контакта от обобщенного параметра, равного произведению наружного диаметра и ширины профиля шины для диагональных и радиальных шин. Использован метод сечений, с помощью которого контакт шины отсекается от оболочки. При этом внутренние силы каркаса пневматической шины превращаются в реальные внешние силы. Получена аналитическая зависимость грузоподъемности пневматической шины, представляющая алгебраическую сумму подъемной силы оболочки и вертикальной силы каркаса. Предложена универсальная формула для определения действительной контурной площади контакта шины, в которой используются длина и ширина контакта. Значения длины и ширины контакта, а также соотношение этих величин определяются экспериментально для разных нагрузок и давлений, при этом длина контакта определяется предложенным аналитическим методом.

**Ключевые слова:** площадь контакта, норма слойности, давление, номинальная грузоподъемность, подъемная сила.

Information on the parameters and operating modes of pneumatic tires for tractors and agricultural machinery is contained in state standards in the form of tables in digital form. The variety of types, sizes and designs of tires makes it difficult to determine the tire parameters taking into account conditions and operating modes. The information on the tire parameters is insufficient due to the lack of information about the contact area of the tire with a solid support surface. The article suggests the dependences of the load-carrying capacity of a tire on the generalized geometric parameter equal to the product of the outer diameter and width of the tire profile. The area of contact is an important parameter that affects the traction characteristics of the tractor, the depth of the track when driving on a plowed field and the resistance to movement of the tractor.

New terms have been introduced – the theoretical and actual contact areas of the pneumatic tire. The dependence of the theoretical contact area on the generalized parameter equal to the product of the outer diameter and width of the tire profile for diagonal and radial tires is obtained. The cross-section method is used, by means of which the bus contact is cut off from the shell. In this case, the internal forces of the pneumatic tire framework are transformed into real external forces. The analytical dependence of the load capacity of a pneumatic tire is obtained, representing the algebraic sum of the lifting force of the shell and the vertical force of the frame. The universal formula is proposed for determining the actual contour area of the tire contact, in which the contact length and width are used. The values of the length and width of the contact, as well as the ratio of these quantities, are determined experimentally for different loads and pressures, the contact length being determined by the proposed analytical method.

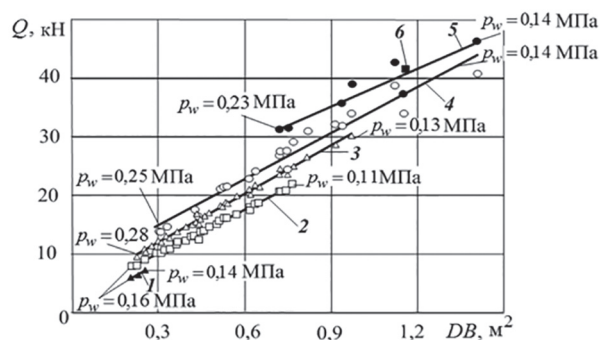
**Keywords:** contact area, layer norm, pressure, nominal load capacity, lifting force.

## Введение

Современные ГОСТы на пневмошины для тракторов и сельхозмашин содержат обширную информацию о геометрических параметрах, грузоподъемностях пневмошин, режимах работы. Основными характеристиками пневмоколеса являются: грузоподъемность; скорость движения; гарантийная наработка в тыс. часов и тыс. км; срок эксплуатации в месяцах и др. Согласно ГОСТу [1], параметрами пневмошины являются:  $n_c$  – норма слойности;  $D$  – наружный диаметр;  $B$  – ширина профиля;  $d$  – посадочный диаметр обода;  $R_c$  – статический радиус;  $p_w$  – давление воздуха;  $Q$  – вертикальная нагрузка на колесо;  $V$  – скорость движения и др.

В современных ГОСТах по тракторным шинам отсутствует информация о площади контакта  $A_k$  на твердой опорной поверхности при номинальной нагрузке и заданном давлении воздуха в шине, отсутствует информация о соотношении длины и ширины площади контакта для диагональных и радиальных шин.

Массовое применение на тракторах и сельхозмашинах получили шины с диагональным и радиальным расположением нитей в каркасе [2, 3]. Шины с радиальным расположением нитей корда в каркасе унаследовали все достоинства диагональных шин и имеют ряд преимуществ по сравнению с ними. Выбор типа и размеров пневматической шины для трактора и сельхозмашины в заданных условиях эксплу-



**Рис. 1. Зависимости грузоподъемности  $Q$  диагональных шин тракторов и сельхозмашин от произведения  $DB$ :**

1 –  $n_c = 4$ , уравнение регрессии  $Q = 26,76DB + 0,4276$ , коэффициент  $R^2 = 0,9544$ ; 2 –  $n_c = 6$ , уравнение регрессии  $Q = 24,742DB + 2,7556$ , коэффициент  $R^2 = 0,9926$ ; 3 –  $n_c = 8$ , уравнение регрессии  $Q = 27,721DB + 3,7514$ , коэффициент  $R^2 = 0,9913$ ; 4 –  $n_c = 10$ , уравнение регрессии  $Q = 26,221DB + 6,9989$ , коэффициент  $R^2 = 0,9508$ ; 5 –  $n_c = 12$ , уравнение регрессии  $Q = 21,722DB + 15,7$ , коэффициент  $R^2 = 0,8506$ ; 6 –  $n_c = 14$ , шина 28L-26

атации с учетом прочности и долговечности шины является весьма сложной технической проблемой, так как большой объем информации о шинах представляется в ГОСТе [1] в табличной цифровой форме.

## Цель исследования

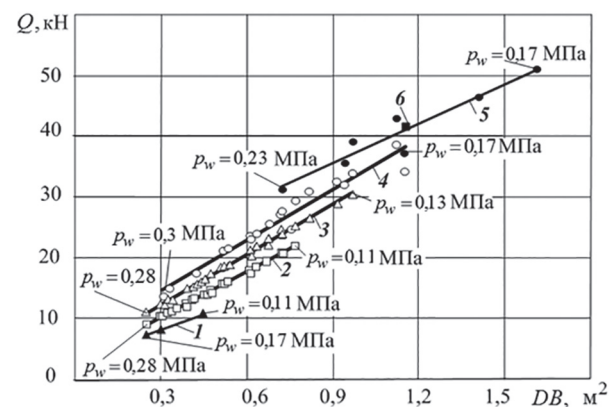
В данной статье предложено грузоподъемность и площадь контакта шин для тракторов и сельхозмашин представлять в виде аналитических зависимостей от обобщенного параметра, равного произведению ( $DB$ ) – диаметра шины  $D$  и ширины профиля шины  $B$ . Для диагональных и радиальных шин установлено соотношение длины и ширины контакта как фактора, влияющего на сопротивление качению.

## Материалы и методы исследования

Для диагональных шин на рис. 1 зависимость  $Q = f(DB)$  является линейной функцией для шин разной нормы слойности  $n_c$ , которая изменяется дискретно в диапазоне четных чисел  $n_c = 4...14$ .

Под рис. 1 для каждой нормы слойности приведены линейные уравнения регрессии с высокими коэффициентами корреляции  $R^2$ .

На рис. 2 для радиальных пневмошин тракторов и сельхозмашин получены зависимости



**Рис. 2. Зависимости грузоподъемности  $Q$  радиальных шин тракторов и сельхозмашин от произведения  $DB$ :**

1 –  $n_c = 4$ , уравнение регрессии  $Q = 17,863DB + 2,8242$ , коэффициент  $R^2 = 0,9942$ ; 2 –  $n_c = 6$ , уравнение регрессии  $Q = 25,054DB + 2,7158$ , коэффициент  $R^2 = 0,9926$ ; 3 –  $n_c = 8$ , уравнение регрессии  $Q = 27,611DB + 3,734$ , коэффициент  $R^2 = 0,994$ ; 4 –  $n_c = 10$ , уравнение регрессии  $Q = 27,432DB + 6,5221$ , коэффициент  $R^2 = 0,9478$ ; 5 –  $n_c = 12$ , уравнение регрессии  $Q = 21,371DB + 16,257$ , коэффициент  $R^2 = 0,8962$ ; 6 –  $n_c = 14$ , шина 28,1R26

грузоподъемности  $Q$  от обобщенного параметра, равного произведению наружного диаметра шины  $D$  и ширины профиля  $B$ .

Зависимости  $Q = f(DB)$  на рис. 1 и 2 показывают, что с увеличением произведения  $DB$  грузоподъемность шины увеличивается. Причем, диапазон изменения геометрических размеров соответствует диапазону изменения обобщенного параметра  $DB = 0,2...1,65$ .

На рис. 1 для диагональных шин по зависимости 3 для нормы слойности  $n_c = 8$  имеем грузоподъемность  $Q = 20$  кН при  $DB = 0,6$ . Для нормы слойности  $n_c = 10$  по зависимости 4 можно получить грузоподъемность  $Q = 30$  кН, увеличивая геометрические размеры шины до величины произведения  $DB = 0,9$ . По зависимости 4 видно, что для увеличения грузоподъемности с  $Q = 15$  кН до  $Q = 30$  кН, т.е. в два раза, необходимо увеличить геометрические размеры шины, изменяя произведение  $DB$  от  $DB = 0,3$  до  $DB = 0,9$ , т.е. в три раза.

Аналогично для радиальных тракторных шин по рис. 2, например, для грузоподъемности  $Q = 20$  кН имеем три возможных варианта выбора шины по геометрическим размерам для трех разных норм слойности (табл. 1).

Возникает возможность выбора грузоподъемности шины из семейства возможных вариантов по критерию грузоподъемности, давлению, скорости и другим условиям и ограничениям.

При увеличении геометрических размеров шины возрастают напряжения в нитях корда каркаса шины, поэтому при увеличении геометрических размеров шины уменьшают расчетное давление воздуха в шине. Например, для зависимости 4 (см. рис. 2) в начале давление  $p_w = 0,3$  МПа, а в конце зависимости давление  $p_w = 0,17$  МПа.

Площадь контакта шины с опорной поверхностью является важным параметром, который влияет на тяговые качества трактора, об-

разование колеи, износ шины, сопротивление качению и другие характеристики. В работе Бидермана В.Л. и др. [4] предложено принимать форму площади контакта шины в виде эллипса. В ряде других работ [5–10] предложено определять контурную площадь контакта путем выполнения статических отпечатков контакта шины на листах бумаги. В ГОСТе [11] предлагается определять контурную площадь контакта без указания способа ее вычисления.

На рис. 3 показаны возможные формы контурной площади контакта для пневматических шин.

Для обычных пневмошин при номинальной грузоподъемности и давлении длина  $a_k$  площади отпечатка шины обычно больше ширины  $b_k$  площади контакта, т.е.  $a_k > b_k$ . При определенном сочетании нагрузки  $Q$  и давления  $p_w$  возможна форма площади контакта в виде круга, когда  $a_k = b_k$ . При этом для широкопрофильных шин при номинальной нагрузке  $Q$  и номинальном давлении  $p_w$  ширина контакта  $b_k$  больше длины контакта  $b_k > a_k$  (рис. 3, в).

Длина отпечатка шины  $a_k$  пропорциональна плечу сопротивления качению пневмошины [12], поэтому при уменьшении соотношения длин  $a_k/b_k$  сопротивление качению шины снижается.

Авторы статьи предложили моделировать форму контурной площади отпечатка шины в виде овала по универсальной формуле, которая учитывает все возможные формы реальных площадей контакта пневмошины. Если  $a_k > b_k$ , то действительную площадь контакта можно определять по формуле из работы Тарасова В.Н., Бояркина И.В. и Дегтяря В.В. [8]:

$$A_{кл} = (a_k - b_k)b_k + \frac{\pi b_k^2}{4}.$$

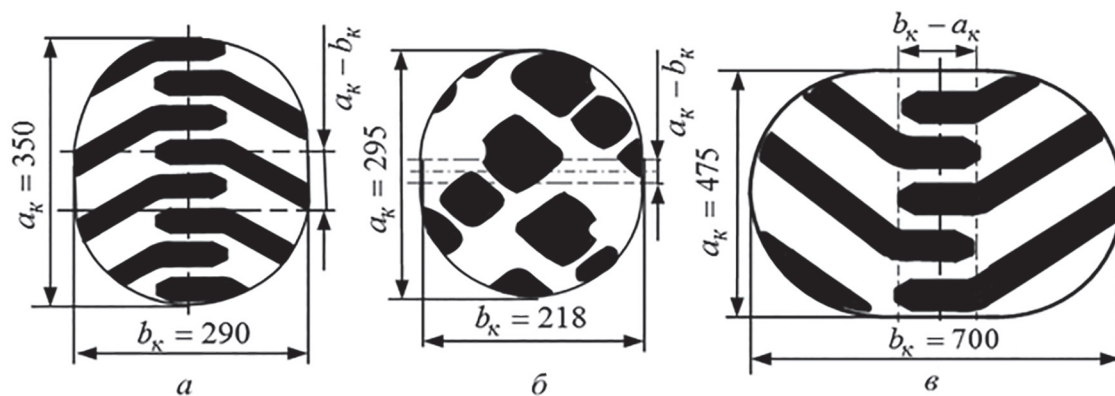
Если  $a_k < b_k$ , то действительная контурная площадь  $A_{кл}$  определяется по формуле:

$$A_{кл} = (b_k - a_k)a_k + \frac{\pi a_k^2}{4}.$$

Таблица 1

Значения геометрического параметра  $DB$  и давления воздуха в шине  $p_w$  для обеспечения грузоподъемности шины  $Q = 20$  кН для разных норм слойности

Размер шины	Норма слойности пневмошины	Грузоподъемность $Q = 20$ кН	
		Геометрический параметр, м <sup>2</sup>	Давление в пневмошине, МПа
16.9-38	$n_c = 6$	$DB = 0,722$	$p_w = 0,13$
16.9-24	$n_c = 8$	$DB = 0,592$	$p_w = 0,17$
13.6-36	$n_c = 10$	$DB = 0,522$	$p_w = 0,280$

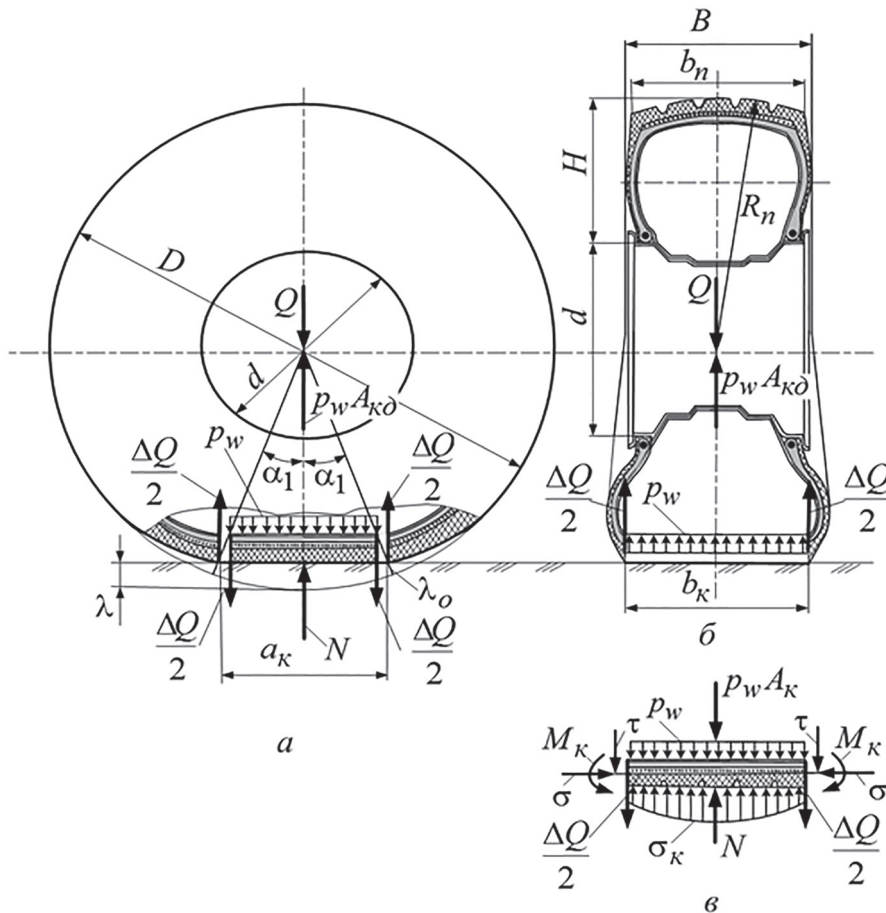


**Рис. 3. Формы контурной площади контакта:**  
 а – шина 13.6-24,  $a_k/b_k = 1,207$ ; б – шина 12.00-20,  $a_k/b_k = 1,353$ ;  
 в – широкопрофильная шина 28,1R26,  $a_k/b_k = 0,679$

В работах [6, 7] предложено определять грузоподъемность пневмошин по физическому закону Паскаля, путем отсечения контактного тела от оболочки замкнутой поверхностью, нормальной к твердой опорной поверхности шины (рис. 4).

### Результаты и обсуждения

В результате использования метода сечения внутренние силы взаимодействия контактного тела и каркаса шины показаны в явном виде и определена грузоподъемность шины по формуле из работ [6, 7]:



**Рис. 4. Схемы расчета грузоподъемности шины по физическому закону Паскаля для широкопрофильной тракторной шины 28,1R26:**  
 а – схема нагружения и деформации шины; б – равновесие оболочки с отсеченным контактом; в – равновесие отсеченного контакта



$$Q = p_w A_{\text{кд}} + \Delta Q, \quad (1)$$

где  $A_{\text{кд}}$  – действительная контурная площадь контакта шины с твердой опорной поверхностью;  $p_w A_{\text{кд}}$  – подъемная сила оболочки каркаса шины.

Составляющие формулы (1) представлены на рис. 4 как реальные действующие силы. Нормальная внешняя сила реакции  $N$  в площади контакта (рис. 4, а) воспринимает нагрузку  $Q$ , приведенную к оси колеса  $Q = N$ .

На рис. 4 равнодействующая сила  $\Delta Q$  условно показана для наглядности в виде половинок сосредоточенных сил  $0,5\Delta Q$ . Неуравновешенной является только вертикальная равнодействующая сила, которая вычисляется при помощи интеграла:

$$\Delta Q = \int_S \tau dS,$$

где  $S$  – площадь вертикальной поверхности, отсекающей контактное тело от оболочки шины;  $\tau$  – касательные напряжения в секущей поверхности.

По рис. 4, б видно, что ширина контакта  $b_{\text{к}}$  зависит от размера протектора  $b_{\text{п}}$ , т.е. является конкретным конструктивным параметром. Длина контакта  $a_{\text{к}}$  на рис. 4, а является технологическим параметром, который можно определить аналитически.

Начальный прогиб шины  $\lambda_0$  связан с нормальным прогибом  $\lambda$  коэффициентом  $k$  начального прогиба [5, 8]:

$$k = \lambda_0 / \lambda, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент начального прогиба.

Диагональные шины имеют коэффициент  $k = 0,33$ ; для радиальных шин  $k = 0,5$ .

Половину угла  $\alpha_1$  контакта шины можно определить по формуле из работ [5, 8]:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{0,5D - \lambda}{0,5D - k\lambda}. \quad (3)$$

Длину контакта можно вычислить по формуле из работ ряда авторов [5, 8]:

$$a_{\text{к}} = 2(0,5D - k\lambda) \sin \alpha_1. \quad (4)$$

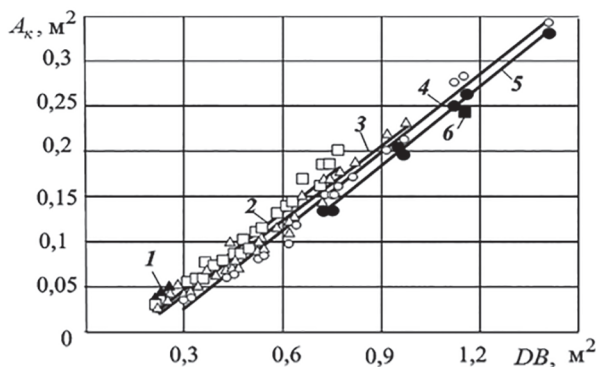
Коэффициент  $k$  начального прогиба шины в формулах (2–4) является важным кинематическим параметром. Если  $k = 0$ , то шина обладает

идеальной эластичностью, т.е. входит в контакт без предварительного прогиба ( $\lambda_0 = 0$ ), и шина имеет максимальную длину контакта  $a_{\text{к}} = a_{\text{кmax}}$ . Такая шина обладает большим сопротивлением перекачиванию по сравнению с шиной, у которой  $k < 1$ . Если условно для шины задать  $k = 1$ , это будет соответствовать шине, у которой длина контакта  $a_{\text{к}} = 0$ , т.е. вся нагрузка  $Q$  в этом случае воспринимается каркасом шины. Сопротивление качению такой шины будет минимальным. Вследствие этого радиальные шины, для которых  $k = 0,5$ , имеют меньшее сопротивление перекачиванию по сравнению с диагональными шинами, у которых  $k = 0,33$ .

В связи с тем, что в ГОСТе [1] отсутствует информация о площади контакта тракторных шин, предлагается ввести понятие «теоретическая площадь контакта шины с твердой поверхностью», которая определяется по закону Паскаля:

$$A_{\text{к}} = \frac{Q}{p_w}. \quad (5)$$

На рис. 5 для диагональных тракторных шин по ГОСТ [1] получены зависимости теоретической площади контакта пневмошины  $A_{\text{к}}$  по формуле (5) от обобщенного параметра  $DB$ , представляющего собой произведение величин  $D$  и  $B$  для разных норм слоистости  $n_c = 4...14$ .

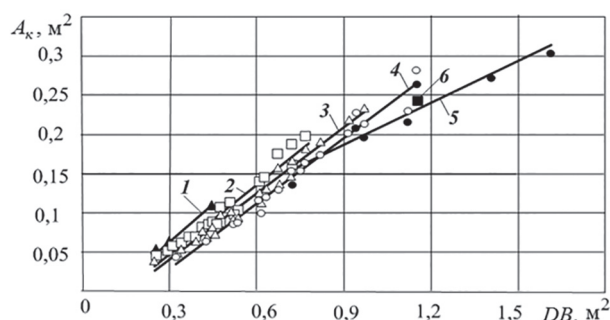


**Рис. 5. Зависимости теоретической площади контакта  $A_{\text{к}}$  диагональных шин тракторов и сельхозмашин от произведения  $DB$ :**

- 1 –  $n_c = 4$ , уравнение регрессии  $A_{\text{к}} = 0,3096DB - 0,026$ , коэффициент  $R^2 = 0,9807$ ;
- 2 –  $n_c = 6$ , уравнение регрессии  $A_{\text{к}} = 0,2921DB - 0,0404$ , коэффициент  $R^2 = 0,9469$ ;
- 3 –  $n_c = 8$ , уравнение регрессии  $A_{\text{к}} = 0,27DB - 0,0363$ , коэффициент  $R^2 = 0,9652$ ;
- 4 –  $n_c = 10$ , уравнение регрессии  $A_{\text{к}} = 0,2862DB - 0,0587$ , коэффициент  $R^2 = 0,9874$ ;
- 5 –  $n_c = 12$ , уравнение регрессии  $A_{\text{к}} = 0,2922DB - 0,0774$ , коэффициент  $R^2 = 0,99$ ;
- 6 –  $n_c = 14$ , шина 28L-26

На рис. 6 для радиальных шин показаны зависимости площади контакта  $A_k$  от произведения  $DB$ . Для разных норм слойности под рис. 5 и 6 приводятся уравнения регрессии  $A_k = f(DB)$ , которые характеризуются высокими коэффициентами корреляции  $R^2$ .

Нагрузка  $Q$  на оси колеса воспринимается подъемной силой контакта  $p_w A_k$ . При качении колеса элементы протектора шины входят в контакт с опорной поверхностью периодически – один раз за один оборот колеса. Поэтому при увеличении скорости движения в элементах каркаса шины кроме касательных  $\tau$  и нормальных  $\sigma$  напряжений присутствуют силы вязкого сопротивления, зависящие от скорости движения трактора [2, 12]. Отмеченные особенности являются наблюдаемыми и реальными [3], но незначительными при реальных рабочих скоростях движения тракторов. В данной статье эти явления не рассматриваются.



**Рис. 6. Зависимость площади контакта  $A_k$  радиальных шин тракторов и сельхозмашин от произведения  $DB$ :**

- 1 –  $n_c = 4$ , уравнение регрессии  $A_k = 0,2969DB - 0,0258$ , коэффициент  $R^2 = 0,9833$ ; 2 –  $n_c = 6$ , уравнение регрессии  $A_k = 0,3017DB - 0,0448$ , коэффициент  $R^2 = 0,9498$ ; 3 –  $n_c = 8$ , уравнение регрессии  $A_k = 0,2824DB - 0,0448$ , коэффициент  $R^2 = 0,9767$ ; 4 –  $n_c = 10$ , уравнение регрессии  $A_k = 0,2741DB - 0,0522$ , коэффициент  $R^2 = 0,9702$ ; 5 –  $n_c = 12$ , уравнение регрессии  $A_k = 0,1751DB + 0,0291$ , коэффициент  $R^2 = 0,8911$ ; 6 –  $n_c = 14$ , шина 28,1R26

**Результаты измерения размеров контакта, площадей контакта, вертикальные силы в каркасе для разных грузоподъемностей  $Q$  и давлений  $p_w$**

Размер шины	$Q$ , Н	$p_w$ , МПа	Соотношение длины и ширины контакта, $a_k/b_k$	Площадь контакта		Вертикальная сила каркаса $\Delta Q$ , Н	Разница площадей, %
				Теоретическая $A_k$ , м²	Действительная $A_{kd}$ , м²		
13,6-24	15450	0,200	1,207	0,075705	0,08345	-1549	10,2
12.00-20	37500	0,77	1,353	0,047775	0,0541	-4851	13,1
28,1R26	35500	0,130	0,679	0,267615	0,284080	-2141	6,07

Теоретическая площадь контакта  $A_k$  отличается от действительной площади контакта  $A_{kd}$ . Поэтому появляется возможность определять вертикальные силы  $\Delta Q$  каркаса шины на твердой опорной поверхности по формуле:

$$\Delta Q = (A_k - A_{kd})p_w.$$

При обычных рабочих скоростях движения вертикальная сила каркаса шины  $\Delta Q$  имеет отрицательный знак при номинальной грузоподъемности и расчетном давлении в шине.

В табл. 2 для трех шин (см. рис. 3) приведены результаты выполненных исследований, показаны действительные и теоретические площади контакта, значения сил каркаса для номинальной грузоподъемности при соответствующем давлении воздуха в шинах.

Вертикальная сила в каркасе  $\Delta Q$  имеет отрицательные значения. Это означает, что в пневмошине при расчетной нагрузке и давлении соблюдается условие, необходимое для нормальной работы шины, когда между телом отсеченного контакта шины и оболочкой в результате деформации шины появляется дополнительная отрицательная сила:

$$\Delta Q = Q - p_w A_k.$$

### Заключение

Грузоподъемность  $Q$  и контурную площадь контакта  $A_k$  для тракторных шин удобно представлять в виде зависимостей от обобщенной координаты, равной произведению наружного диаметра и ширины профиля шины  $Q = f_1(DB)$ ;  $A_k = f_2(DB)$ . Метод отсечения контактного тела от оболочки шины позволяет определить подъемную силу контакта  $p_w A$  и вертикальную силу каркаса шины  $\Delta Q$ , которая при номинальной грузоподъемности имеет отрицательное значение, составляющее примерно 10–15 % от грузоподъемности шины.

Таблица 2

## Литература

- ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 26 с.
- Гуськов В.В. Велев Н.Н., Атамонов Ю.Е. и др. Тракторы (теория) / Под общ. ред. В.В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
- Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. М.: Химия, 1988. 224 с.
- Бидерман В.Л. и др. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация) / Под ред. В.Л. Бидермана. М.: Госхимиздат, 1963. 384 с.
- Тарасов В.Н. Теоретический радиус качения эластичного колеса // Автомобильная промышленность. 1965. № 1. С. 5–6.
- Тарасов В. Н. Грузоподъемность шины с жидким балластом // Тракторы и сельхозмашины. 1965. № 8. С. 10–12.
- Бояркина И.В. Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков. Омск: Изд-во СибАДИ, 2011. 336 с.
- Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Физическое и математическое моделирование грузоподъемности пневмоколес // Омский научный вестник (ОМГТУ). Серия: приборы, машины и технологии. 2015. № 1 (137). С. 222–226.
- Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Метод расчета грузоподъемности пневмоколеса и прочности каркаса автошины транспортного средства // Строительные и дорожные машины. 2015. № 5. С. 47–52.
- Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Аналитическое и экспериментальное определение объема тора пневматической шины // Материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ» Архитектура. Строительство. Транспорт: СибАДИ, 2015. С. 238–242.
- ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1973. 25 с.
- Тарасов В.Н., Ягодкин Л.Г., Голубев Э.Н.. Экспериментальное исследование качения ведомого колеса по барабану и плоской поверхности. Омск: СибАДИ, 1970. С. 5–48.
- Gus'kov V.V. Velev N.N., Atamonov Yu.E. i dr. Traktory (teoriya) [Tractors (theory)]. Pod obshch. red. V.V. Gus'kova. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. 376 p.
- Bukhin B.L. Vvedenie v mekhaniku pnevmaticheskikh shin [Introduction to the mechanics of pneumatic tires]. Moscow: Khimiya Publ., 1988. 224 p.
- Biderman V.L. i dr. Avtomobil'nye shiny (konstruktsiya, raschet, ispytaniya, ekspluatatsiya) [Automobile tires (design, calculation, testing, operation)]. Pod red. V. L. Bidermana. Moscow: Goskhimizdat Publ., 1963. 384 p.
- Tarasov V.N. The theoretical rolling radius of an elastic wheel. Avtomobil'naya promyshlennost'. 1965. No 1, pp. 5–6 (in Russ.).
- Tarasov V. N. Carrying capacity of the tire with liquid ballast. Traktory i sel'khoz mashiny. 1965. No 8, pp. 10–12 (in Russ.).
- Boyarkina I.V. Tekhnologicheskaya mekhanika odnokovshovykh frontal'nykh pogruzchikov [Technological mechanics of single-bucket front loaders]. Omsk: Izd-vo SibADI Publ., 2011. 336 p.
- Tarasov V. N., Boyarkina I. V., Degtyar' V. V. Physical and mathematical modeling of the load capacity of pneumatic wheels. Omskiy nauchnyy vestnik (OMGTU). Seriya: pribory, mashiny i tekhnologii [Omsk Scientific Bulletin (OMGTU). Series: instruments, machines and technologies]. 2015. No 1(137), pp. 222–226 (in Russ.).
- Tarasov V.N., Boyarkina I.V., Degtyar' V.V. Method for calculating the carrying capacity of a pneumatic wheel and the strength of the tire frame of a vehicle. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2015. No 5, pp. 47–52 (in Russ.).
- Boyarkina I.V., Degtyar' V.V. Analytical and experimental determination of the volume of the pneumatic tire torus. Materialy Mezhdunarodnogo kongressa FGBOU VPO «Si-bADI» Arkhitektura. Stroitel'stvo. Transport [Proceedings of the International Congress of the SibAI «SibADI» Architecture. Building. Transport]: SibADI Publ., 2015, pp. 238–242 (in Russ.).
- GOST 17697-72. Automobiles. Wheel rolling. Terms and Definitions. Moscow: IPK Izd-vo standartov Publ., 1973. 25 p.
- Tarasov V.N., Yagodkin L.G., Golubev E.N.. Eksperimental'noe issledovanie kacheniya vedomogo kolosa po barabanu i ploskoy poverkhnosti [Experimental study of the rolling of a driven wheel on a drum and a flat surface]. Omsk: SibADI Publ., 1970, pp. 5–48 (in Russ.).

## References

- GOST 7463-2003. Pneumatic tires for tractors and agricultural machinery. Moscow: IPK Izd-vo standartov Publ., 2003. 26 p.

# КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБОКОМПРЕССОРОВ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

## COMPOSITE MATERIALS FOR IMPELLERS OF THE TURBOCHARGER OF AUTOMOTIVE ENGINES

**А.Н. НЕТРУСОВ**  
**В.М. ФОМИН**, д.т.н.

Московский политехнический университет, Москва,  
Россия, a.netrusov@mail.ru, mixalichDM@mail.ru

**A.N. NETRUSOV**  
**V.M. FOMIN**, DSc in Engineering

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,  
a.netrusov@mail.ru, mixalichDM@mail.ru

Целью данной работы является поиск и выбор компонентов композиционных материалов, наиболее полно отвечающих требованиям, предъявляемым к материалам рабочих колес турбокомпрессора. В работе приведены современные компоненты композитов, а также их свойства. Сформулированы требования к материалам рабочих колес. Проведен патентный поиск с целью описания существующих концепций рабочих колес из композиционных материалов. Дано описание возможных вариантов изготовления колес, выявлены их достоинства и недостатки. В ходе исследования установлены нетрадиционные преимущества применения композитов в конструкции турбокомпрессора. Описана возможность создания ротора электрической машины из рабочего колеса компрессора путем вплетения в него медной проволоки. Рассмотрены основные технологии изготовления рабочих колес. Приведены отечественные и зарубежные производители полимерных матриц и волокон. Описаны физико-механические свойства хаотически армированных композиционных материалов, доступных на современном рынке. По результатам сравнительного анализа выбран композиционный материал, наиболее полно отвечающий предъявляемым требованиям, – полиамидоимид, наполненный углеродным волокном. Применение непрерывных волокон в рабочих колесах является эффективным способом повышения прочности последних. Установлено, что в качестве более дешевой альтернативы полиамидоимида может выступать углеродосодержащий материал «Карбул», – при условии армирования колеса непрерывными волокнами. Дешевые и широко используемые материалы (наполненные полиамиды, поликарбонаты, эпоксидные смолы и др.) могут быть использованы при изготовлении рабочих колес центробежных нагнетателей с механическим или электрическим приводом. Композиты с углеродным волокном в карбидокремниевой матрице (C-SiC) могут выступить как альтернатива жаропрочным никелевым сплавам, из которых в настоящее время изготавливают турбинное колесо.

**Ключевые слова:** центробежный компрессор, турбокомпрессор, композитные материалы, рабочие колеса.

The aim of this work is the search and selection of components of composite materials are fully meeting the requirements imposed to the materials of the impellers of the turbocharger. During the work modern components of the composites and their properties is described. The requirements to materials of impellers were formulated. Patent search was carried out to describe existing concepts of impellers made of composite materials. A possible production version of the impellers is described, revealed their advantages and disadvantages. In the course of patent studies have not traditional the advantages of using composites in the design of the turbocharger. Described the possibility of creating a rotor of the electric machine of the compressor impeller by weaving a copper wire. The main technology of manufacture of impellers is described. Given domestic and foreign manufacturers of polymer matrixes and fibers. The described physic-mechanical properties of randomly reinforced composite materials available on the market today. A comparative analysis of selected composite material most fully meets the requirements – polyamideimide filled carbon fiber. The use of continuous fibers in the impellers is an effective way to increase the strength of the latter. It is established that as a cheaper alternative to polyamideimide can be a carbon-containing material "Carbul" provided reinforcement of the wheel with continuous fibers. Cheap and widely used materials (filled polyamides, polycarbonates, epoxy resin, etc.) can be used in the manufacture of impellers in centrifugal blowers with manual or electric drive. Composites with carbon fiber in silicon carbide matrix (C-SiC) can act as an alternative to heat-resistant nickel alloys, of which currently produce the turbine wheel.

**Keywords:** centrifugal compressor, turbocharger, composite material, impellers.

## Введение

Научно-практический интерес к рассмотрению проблемы применения композиционных материалов (КМ) для изготовления рабочих колес (РК) турбокомпрессоров (ТК) автотракторных двигателей обусловлен в первую очередь уникальными физико-механическими свойствами этих материалов. В настоящее время в некоторых отраслях энергетического машиностроения используют композиты, которые имеют плотность значительно ниже традиционных металлических материалов, не уступая им в то же время в прочностных свойствах. Низкая плотность КМ априори обуславливает потенциальную возможность решения таких проблем турбонаддува автотракторных двигателей, как повышение надежности работы подшипникового узла ротора ТК за счет уменьшения действующих на него инерционных нагрузок, а также снижение негативных проявлений – т.н. турбоам и турбоподхватов, обусловленных инерционностью ротора ТК [1]. На сегодняшний день существует множество различных видов КМ, основные свойства которых приведены в данной работе, однако следует учитывать при выборе КМ не только условия эксплуатации РК, но также особенности проектирования и технологии производства.

## Цель исследования

Основной целью исследования является обоснованный выбор КМ и анализ их свойств, наиболее полно отвечающих требованиям, предъявляемым к материалам для изготовления РК ТК автотракторных двигателей.

## Материалы и методы

На основе выполненных информационно-аналитических исследований приведены систематизированные материалы и сведения о применяемых и перспективных компонентах КМ, используемых в современных технологиях энергомашиностроения при производстве элементов конструкции турбомашин. Рассмотрены наиболее перспективные компоненты композитов, а также их физико-технические свойства. Проанализированы существующие концепции формирования армирующих структур матриц КМ, выявлены их достоинства и недостатки. Сформулированы требования к материалам рабочих колес ТК с учетом условий их работы в составе агрегатов наддува автотракторных двигателей. По результатам

комплексного анализа физико-механических свойств КМ обоснован выбор компонентов КМ, наиболее полно отвечающих требованиям, предъявляемым к материалам рабочих колес ТК. Кратко рассмотрены состояние и потенциальные возможности отечественного и мирового производства КМ.

## Результаты и их обсуждение

Рабочие колеса ТК испытывают значительные инерционные нагрузки из-за высокой частоты вращения ротора, которая может варьироваться от 70000 до 150000 мин<sup>-1</sup> и более, что обуславливает повышенные требования к прочностным свойствам материалов, используемых для их изготовления. Не менее важной является проблема сохранения прочностных показателей материала в условиях высоких рабочих температур. В процессе работы ТК температура РК компрессора и турбины может достигать 140 и 700 °С соответственно. Для турбинных колес также предъявляется требование по удельной жесткости ( $E/\rho$ ), в пределе не менее 19,5 МПа·м<sup>3</sup>/кг с целью исключения резонансных явлений ротора. Работа ТК в составе системы наддува ДВС характеризуется циклическими сменами нагрузочных и температурных режимов, поэтому материал рабочих колес должен обладать необходимой сопротивляемостью к усталостному и термоусталостному разрушению.

Одной из основных проблем ТК является выход из строя подшипникового узла из-за высоких инерционных нагрузок, действующих на него в процессе работы. Это обуславливает требование по предельно возможному снижению плотности материала РК, которая по определению должна быть меньше чем у традиционных алюминиевых и никелевых сплавов.

В условиях эксплуатации ТК при недостаточной фильтрации воздуха от пыли имеет место *абразивный износ поверхностей лопаток компрессора*, который может привести к утонению лопаток до величины меньше необходимой по расчету, а в предельном случае – к их разрушению. Поэтому при выборе материала для лопаток компрессора ТК необходимо учитывать его устойчивость к *абразивному истиранию твердыми частичками пыли*.

Из рассмотренных выше требований к физико-механическим свойствам КМ для РК ТК главными являются требования к прочностным качествам материала и его плотности.

Для повышения прочности и эксплуатационной надежности колес ТК в базовый материал конструкции (матрицу) целесообразно внедрять армирующие элементы, изготовленные из материалов с более высокими прочностными характеристиками. Путем соответствующего усложнения геометрии армирующих структур может быть достигнуто дополнительное повышение прочностных свойств конструкции РК в целом.

В табл. 1 приведены основные физико-механические свойства ряда армирующих компонентов и матриц [2–6].

С учетом определяющего влияния эффекта армирования на прочностные свойства колес поиск наиболее целесообразных структурных

схем армирования является одной из важнейших задач при формировании конструкции РК из КМ.

Простейшие упрочняющие элементы для традиционных компрессорных колес турбомашин представляют собой конические втулки из материала повышенной прочности, внедряемые в опорную зону диска колеса (см. рис. 1). Их применение вызвано необходимостью компенсации негативных эффектов, связанных с концентрацией напряжений в зоне отверстия под вал [7].

Результаты предварительного анализа показывают, что необходимость применения армирующих элементов в конструкции РК из КМ обусловлена, главным образом, разли-

Таблица 1

**Физико-механические свойства армирующих компонентов и матриц композиционных материалов**

Наименование материалов	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Модуль упругости $E$ , ГПа	Удельная прочность $D$ , МПа·м <sup>3</sup> /кг	Удельная жесткость $B$ , МПа·м <sup>3</sup> /кг
Армирующие волокна					
Стальная проволока	7850	3000	210	0,38	26,75
Вольфрамowo-молибденовая проволока	18950	1850	410	0,10	21,64
Бериллиевая проволока	1848	1391	300	0,75	162,34
Титановая проволока	4540	1600	112	0,35	24,67
Волокна бора, карбида кремния, борсик	2430	3150	443	1,30	182,30
Органические волокна («Капроновое волокно»)	1145	450	3	0,39	2,62
Углеродное волокно («высокопрочное»)	1700	2250	225	1,32	132,35
Стеклоанное волокно («капиллярное стекло»)	1700	2650	60	1,56	35,29
Керамические волокна	2520	1760	130	0,70	51,59
Матрицы					
Алюминиевые сплавы	2780	360	70	0,13	25,18
Магниеые сплавы	1830	322	45	0,18	24,59
Титановые сплавы	4490	898	112	0,20	24,94
Полиимид	1370	145	4	0,11	2,92
Полиамид	1350	120	3	0,09	2,22
Эпоксидная смола	1100	70	3	0,06	2,73
Полифениленсульфид	1600	200	15	0,125	9,375
Полиамидоимид	1420	190	5	0,134	3,52
Полиэфирэфиркетон	1320	115	4	0,087	3,03
Полиэфирная смола	1340	76	2	0,057	1,49

чем напряженности диска по его радиальной координате. Понятно, что в этом случае для создания равнопрочной конструкции диска из полимерной матрицы целесообразно использовать армирующие упрочняющие элементы более сложных конфигураций, размещаемые непосредственно в теле диска. На рис. 2 показаны армирующие элементы, выполненные в виде комбинации композитных колец, полученных в результате намотки и последующей пропитки связующим веществом. Схожая комбинация может быть также выполнена с использованием готового к применению композиционного материала-полуфабриката типа препрега, которую получают путем пропитки армирующей волокнистой основы с тканой или нетканой структурой равномерно распределенными полимерными связующими. Пропитка осуществляется таким образом, чтобы максимально реализовать физико-технические свойства армирующего материала. Производят препреги в форме полотна, покрытого с обеих сторон полиэтиленовой пленкой и свернутого в рулон. В настоящее время препреговая технология находит применение в авиастроении при изготовлении корпусов самолетов и вертолетов, крыльев, обтекателей, винтов.

Полагают [8, 9], что для изготовления колес турбомашин может быть также использован полуфабрикат типа препрега с упорядоченными в радиальном и окружном направлениях армирующими волокнами в виде спирали (см. рис. 3, 4). При связывании его слоев вдоль оси образуется каркас диска РК. В последующем диск соединяется с лопаточной частью, выполненной литьем или другим технологическим приемом.

Для повышения прочностных свойств конструкции колес турбомашин в работах ряда авторов [10, 11] предложены и функционально обоснованы оригинальные технологии формирования пространственно армированных структур, приведенных на рис. 5. Отмечается, что данные варианты исполнения упрочняющих структур достаточно сложны и дороги при производстве, но их высокие прочностные качества окупают сполна все издержки.

Разработанные в сфере энергетического машиностроения современные технологии формирования упрочняющих армирующих структур обуславливают потенциальную возможность создания высокопрочных конструкций колес ТК автотракторных двигателей.

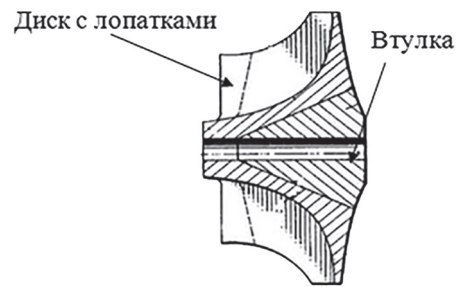


Рис. 1. Рабочее колесо компрессора с втулкой из материала повышенной прочности

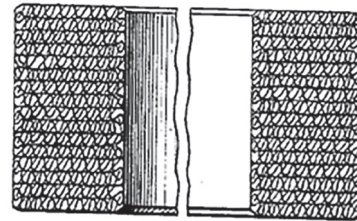


Рис. 2. Армирующие кольца РК

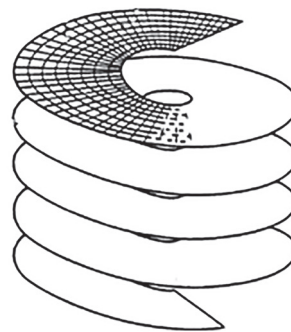


Рис. 3. Армирующая спираль РК

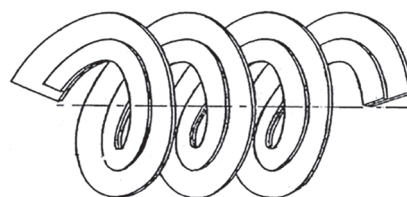


Рис. 4. Композиция армирующих спиралей РК

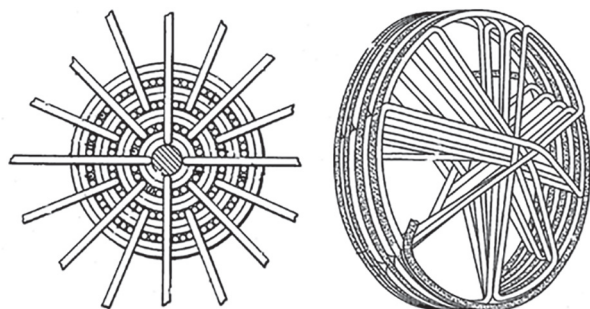


Рис. 5. Пространственно армирующие структуры для РК

Например, в работе коллектива авторов [12] предложен вариант выполнения компрессорного колеса, имеющего внешний армирующий слой диска из КМ с дополнительным упорядоченным в различных направлениях армированием лопаток (см. рис. 6). Матрица КМ может быть выполнена из эпоксидных смол, фенольных смол, полиамидов, полиимидов, полипропилена, полиэфирэфиркетона. Материалом волокна может быть металл, стекло, полимерные или углеродные волокна [12]. Использование углеродных волокон наиболее предпочтительно ввиду их высоких прочностных свойств. Внешний слой диска может быть армирован непрерывными или полунепрерывными волокнами, которые могут быть ориентированы в различных направлениях. В этом варианте слой волокон может быть выполнен в виде тканевого материала, который содержит множество переплетающихся нитей, ориентированных в определенных направлениях. Диск РК может также иметь внутреннее армирование.

Вариант технологии производства РК подобной конструкции, с его преимуществами и недостатками, подробно рассмотрен в отечественной исследовательской практике [13]. Отмечается, что основным недостатком конструкций, в которых используются армирующие волокна, является высокая сложность их изготовления. Лопатки и диск в случае армирования непрерывными и полунепрерывными волокнами необходимо изготавливать по отдельности с последующим связыванием при помощи КМ с дискретным армированием, при этом прочность РК будет лимитироваться

прочностью зон соединения лопаток с диском. Здесь также надо иметь в виду, что внутреннее армирование колеса может дать не только положительный эффект с точки зрения прочности и жесткости, но и негативный – в зонах контакта областей с высокой и низкой жесткости возможно появление концентраций напряжений, что отрицательно скажется на усталостной прочности РК.

Более предпочтительным является вариант изготовления колеса на основе менее сложной технологии, которая заключается в изготовлении РК посредством литья резины с упрочняющей фазой в форму с последующей карбонизацией композиции (технология «Карбул»). Данная технология дает возможность получать углеродосодержащий материал (табл. 2), обладающий высокой температурной стойкостью, а по показателям удельной прочности сопоставимый с традиционными материалами, и, что важно, при более низкой (на 30–40 %) удельной плотности. Полагают [14–16], что композитный углеродосодержащий материал, с учетом его уникальных свойств, может эффективно использоваться не только для колес ТК, но и для изготовления поршней ДВС и направляющих лопаток реактивных двигателей.

Некоторые известные из литературных источников физико-механические свойства для ряда углеродосодержащих композитов приведены в табл. 2.

Композиты с углеродным волокном в карбидокремниевой матрице (C-SiC) характеризуются наиболее высокими прочностными

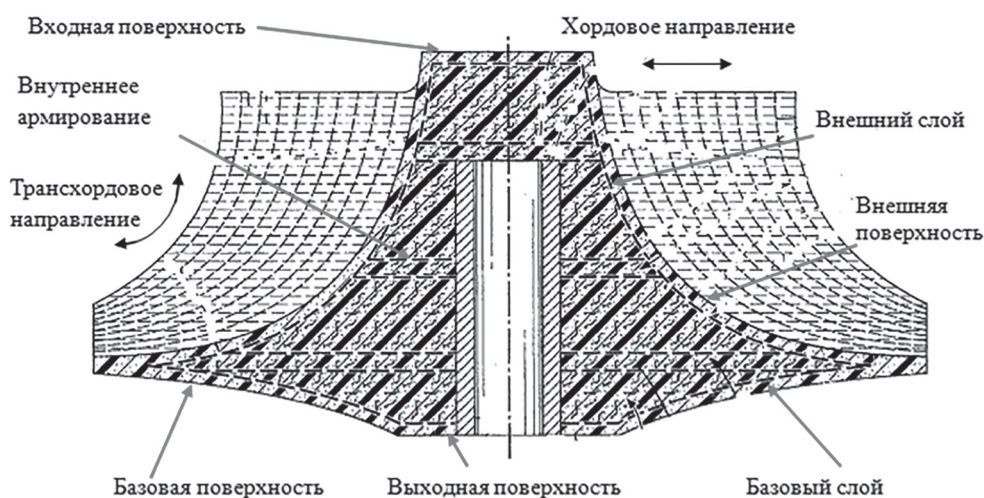


Рис. 6. Схема армирующей структуры рабочего колеса компрессора ТК [12]



Физико-механические свойства углеродосодержащих композитов

Наименование материала	Прочность на разрыв, МПа	Относительное удлинение, %	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Модуль упругости, МПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Shrunk FU 4270	–	–	150	80...100	–	1,8
Shrunk FU 2451	–	–	250	100...120	–	1,9
Карбул СС	72	–	173	121	–	1,20
Карбул 3	40	4	240	120	–	1,17
Карбул 1	42	2	280	90	–	1,24
C-SiC композит	70...100	0,15...0,20	–	160...240	40	2,2...2,4
Композит DLR	80...190	0,15...0,35	–	180...200	60	2,4

качествами [16]. В настоящее время подобные материалы фирмы DLR (свойства одного из них приведены в табл. 2) могут конкурировать с жаропрочными никелевыми сплавами, и использоваться для изготовления турбинного колеса ТК.

Следует отметить, что появление высокопрочных неметаллических КМ стимулирует развитие оригинальных технологий в сфере производства перспективных ТК, разработку новых технических решений, реализация которых становится возможной только при применении подобных материалов. Так в работе [17] обоснована потенциальная возможность создания конструктивно совмещенной с ТК электрической машины путем вплетения медной проволоки в диск РК и преобразования его в ротор электрогенератора или электродвигателя.

Результаты аналитического исследования физико-технических свойств компонентов КМ позволяют провести обоснованный их выбор для изготовления РК турбокомпрессоров с учетом условий эксплуатации ТК в составе систем наддува автотракторных двигателей.

Как уже отмечалось ранее, полимеры имеют плотность более чем в 1,5 раза ниже, чем металлы, и, следовательно, обеспечивают значительное уменьшение инерционности ротора и нагруженности подшипникового узла. Поэтому их целесообразно использовать для формирования конструктивной основы колеса – матрицы. Результаты анализа показали, что наиболее предпочтительным (по стоимостным и эксплуатационным признакам) полимером для матрицы является полиамидоимид, повышение физико-механических свойств которого может быть достигнуто путем введения в его состав углеродных армирующих компонентов,

например нанотрубок [6]. Такой выбор обусловлен не только уникальными физико-механическими свойствами полиамидоимида при нормальных условиях, но и способностью этого материала сохранять свои свойства при температурах свыше 100 °С. Сохранение свойств полиамидоимида при высоких температурах объясняется его высокой температурой (270 °С) стеклования. Для сравнения: полиэфирэфиркетон имеет температуру стеклования 145 °С, а полифениленсульфид 90 °С. Материалы на основе полиамидоимида имеют также преимущество по сравнению с другими дискретно армированными КМ в том, что свойства их практически изотропны, что значительно упрощает процессы расчета и проектирования изделий из этих материалов.

Наиболее легкие полимерные материалы – алифатические полиамиды – снижают более чем на 50 % свои прочностные качества уже при температуре 80 °С, что исключает возможность их практического применения для РК ТК. Эпоксидные смолы также не пригодны для использования в элементах конструкции ТК, т.к. их максимальная рабочая температура лимитируется 100 °С. Все эти материалы, с учетом их температурных ограничений, могут оказаться востребованы при разработке агрегатов наддува с автономным приводом, например, для рабочих колес центробежных нагнетателей с механическим или электрическим приводом.

В качестве армирующих компонентов КМ наиболее перспективным является высокопрочное углеродное волокно, которое имеет плотность приблизительно на 40 % меньше по сравнению с более дешевым и распространенным стекловолокном.

Для изготовления турбинного колеса наиболее приемлем C-SiC композит, который в полной мере удовлетворяет эксплуатационным требованиям и условиям работы ТК автотракторных двигателей.

По результатам анализа рынка производителей можно отметить, что в настоящее время в России существует ряд предприятий, выпускающих КМ. Среди них можно выделить ФГУП НИИ «Графит», ООО «РЕАМ-РТИ», АО «Препрег-СКМ» и ФГУП «ВИАМ». При этом, практически отсутствуют предприятия по производству высокопрочных полимеров. Известно всего одно предприятие – НИИПМ, которое занимается производством этого материала.

В то же время за рубежом существует множество компаний по производству различных высокопрочных полимеров: Solvay Advanced Polymers, LATI, Ryton, Victrex Polymer Solutions, Röchling, Ensinger, Quadrant, и др.

В настоящее время среди наиболее востребованных промышленностью армирующих элементов являются углеродные волокна. Отечественными производителями углеродных волокон являются ОАО НПК «Химпром-инжиниринг», ФГУП НИИ «Графит», НПЦ «УВИКОМ», ООО «Алабуга-Волокно» и ООО «Аргон». За рубежом основными производителями углеродных волокон являются компании Toray, Tejin, Cytec, SGL, Kureha, Mitsubishi и др.

### Выводы

1. В настоящее время в мировой и отечественной практике существует целый ряд готовых технических и технологических решений по производству элементов композиционных материалов, которые по своим физико-техническим свойствам отвечают требованиям, предъявляемым к материалам рабочих колес турбокомпрессоров автотракторных двигателей и, следовательно, могут рассматриваться, как альтернатива традиционным металлическим материалам.

2. По результатам проведенного аналитического исследования установлено, что наиболее приемлемой композицией неметаллических материалов, которая может заменить традиционные материалы РК компрессора ТК, является полиамидоимидная матрица, наполненная армирующими углеродными волокнами. В качестве наиболее дешевой альтернативы полиа-

мидоимиду может стать углеродосодержащий материал «Карбул» – при условии армирования колеса непрерывными волокнами. Дополнительное повышение прочностных свойств матрицы может быть достигнуто введением в ее среду углеродных нанотрубок.

3. Наиболее дешевые и широко используемые полиамиды, поликарбонат, эпоксидные смолы и др., армированные непрерывными и полунепрерывными волокнами, могут быть использованы для изготовления элементов конструкции агрегатов наддува, которые в процессе работы не нагреваются свыше 80 °С, например, для рабочих колес центробежных нагнетателей с механическим или электрическим приводом.

4. Композиты с углеродным волокном в карбидокремниевой матрице (C-SiC) могут выступить как альтернатива жаропрочным никелевым сплавам, из которых в настоящее время изготавливают турбинное колесо ТК.

5. Научно-практический интерес к проблемам обоснованного выбора и применения КМ для элементов конструкции ТК вызван в первую очередь уникальными физико-механическими свойствами этих материалов. Одним из важнейших отличительных качеств КМ является показатель плотности, который существенно ниже этого показателя для традиционных металлических материалов, используемых для изготовления рабочих колес ТК автотракторных двигателей. Применение КМ позволяет уменьшить массу колес и, как следствие, инерционные нагрузки на подшипниковый узел ТК, снизить момент инерции ротора, а следовательно, улучшить приемистость и приспособляемость ТК к переменным условиям работы двигателя, что может быть отнесено к разряду принципиально новых альтернативных решений проблем газотурбинного наддува автотракторных двигателей. Его реализация может быть успешно совмещена с рядом других уже реализованных решений, дополняя и усиливая при этом их совокупную эффективность.

### Литература

1. Нетрусов А.Н., Фомин В.М. Исследование прочностных качеств рабочих колес из композитного материала агрегатов наддува дизелей // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 2. С. 21–28.
2. Карпинос Д.М. Композиционные материалы. Справочник. Киев: Наукова думка, 1985. 593 с.

3. Крыжановский В.К. и др. Технические свойства полимерных материалов. СПб.: Профессия, 2003. 240 с.
4. Кузеванов Д.В. Научно-технический отчет по теме: «Конструкции с композитной неметаллической арматурой. Обзор и анализ зарубежных и отечественных нормативных документов». М.: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2012. 66 с.
5. Арзамасов Б.Н., Брострем В.А., Буше Н.А. и др. Конструкционные материалы: Справочник. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.
6. Степанов Н.А., Тарасов В.А. Упрочнение полиэфирной матрицы углеродными нанотрубками // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2010. С. 53–65.
7. Pankratz A.W., Matysek B.J., Mendelson R.A. Composite compressor wheel for turbochargers. United States Patent № US 4, 850, 802. Date of patent 25.07.1989. 8 p.
8. La Brouche J.-P. et al. High speed composite turbine wheel. United States Patent № US 5,222,866. Date of patent 29.06.1993. 3 p.
9. Broquere B. et al. Process for manufacturing a turbine or compressor wheel made of composite material and wheel thus obtained. United States Patent № US 4,751,123. Date of patent 14.06.1988. 4 p.
10. Shultz F.E. Orthogonally woven reinforcing structure. United States Patent № US 3,993,817. Date of patent 23.11.1976. 10 p.
11. Muller N. Woven turbo machine impeller. United States Patent № US 2007/0297905 A1. Date of patent 27.12.2007. 15 p.
12. Hommes D.J., Williams C.E. Composite centrifugal compressor wheel. United States Patent № US 8, 794, 914. Date of patent 5.08.2014. 8 p.
13. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Колесников С.А., Васильев Ю.Н. Неметаллические композиционные материалы в элементах конструкций и производстве авиационных газотурбинных двигателей. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 368 с.
14. Макаров А.Р., Смирнов С.В., Осокин С.В., Пятов И.С., Врублевская Ю.И., Финкельберг Л.А. Конструкционные материалы для поршней ДВС // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. № 1 (15). С. 119–125.
15. Пятов И.С., Шибоев О.В., Бузинов В.Г., Макаров А.Р., Костюков А.В., Поседко В.Н., Финкельберг Л.А., Костюченков А.Н. Углеродные материалы для деталей ГТД и ДВС, проблемы и перспективы // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 4 (22). С. 55–60.
16. Kumar S., Chandra R., Kumar A., Prasad N.E., Manocha L.M. C/SiC Composites for propulsion Application // Composites and Nanostructures. 2015. № 4. P. 9–15.
17. Woolenweber W.E., Halimi E.M. Compressor wheels and magnet assemblies for internal combustion engine supercharging devices. United States Patent № 6, 145, 314. Date of patent 14.11.2000. 9 p.

## References

1. Netrusov A.N., Fomin V.M. Issledovanie prochnostnyh kachestv rabochih koles iz kompozitnogo materiala agregatov nadduva dizelej [Investigation of strength properties of impellers made of composite material for diesel engines] // Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny. 2017. № 2. P. 21–28.
2. Karpinos D.M. Kompozicionnye materialy. Spravochnik. Kiev: Naukova dumka, 1985. 593 p.
3. Kryzhanovskij V.K. i dr. Tekhnicheskie svojstva polimernyh materialov. Uchebno-spravochnoe posobie. SPb.: Professiya, 2003. 240 p.
4. Kuzevanov D.V. Nauchno-tehnicheskij otchet po teme: «Konstrukci is kompozitnoj nemetallicheskoj armaturoj. Obzor i analiz zarubezhnyh i otechestvennyh normativnyh dokumentov». М.: NIIZHB im A.A. Gvozdeva, 2012. 66 p.
5. Arzamasov B.N., Brostrem V.A., Bushe N.A. i dr. Konstrukcionnye materialy: Spravochnik. М.: Mashinostroenie, 1990. 688 p.
6. Stepanishchev N.A., Tarasov V.A. Uprochnenie poliehfirnoj matricy uglernodnymi nanotrubkami // Vestnik MGTU im. N. EH. Baumana. Seriya «Priborostroenie» 2010. P. 53–65.
7. Pankratz A.W., Matysek B.J., Mendelson R.A. Composite compressor wheel for turbochargers. United States Patent № US 4,850,802. Date of patent 25.07.1989. 8 p.
8. La Brouche J.-P. et al. High speed composite turbine wheel. United States Patent № US 5, 222, 866. Date of patent 29.06.1993. 3 p.
9. Broquere B. et al. Process for manufacturing a turbine or compressor wheel made of composite material and wheel thus obtained. United States Patent № US 4,751,123. Date of patent 14.06.1988. 4 p.
10. Shultz F.E. Orthogonally woven reinforcing structure. United States Patent № US 3,993,817. Date of patent 23.11.1976. 10 p.
11. Muller N. Woven turbomachine impeller. United States Patent № US 2007/0297905 A1. Date of patent 27.12.2007. 15 p.

12. Hommes D.J., Williams C.E. Composite centrifugal compressor wheel. United States Patent № US 8, 794, 914. Date of patent 5.08.2014. 8 p.
13. Eliseev YU.S., Krymov V.V., Kolesnikov S.A., Vasil'ev YU.N.. Nemetallicheskie kompozicionnye materialy v ehlementah konstrukcij i proizvodstve aviacionnyh gazoturbinyh dvigatelej. M.: MGТУ im. N.EH. Bauman, 2007. 368 p.
14. Makarov A.R., Smirnov S.V., Osokin S.V., Pyatov I.S., Vrublevskaya YU.I., Finkel'berg L.A. Konstrukcionnyematerialydlyaporshnej DVS // Izvestiya MGТУ «MAMI». 2013. № 1 (15). P. 119–125.
15. Pyatov I.S., SHiboev O.V., Buzinov V.G., Makarov A.R., Kostyukov A.V., Posedko V.N., Finkel'berg L.A., Kostyuchenkov A.N. Uglerodnyematerialy-dlyadetalej GTD i DVS, problemy i perspektivy // Izvestiya MGТУ «MAMI». 2014. № 4 (22). P. 55–60.
16. Kumar S., Chandra R., Kumar A., Prasad N.E., Manocha L.M. C/SiC Composites for propulsion Application//Composites and Nanostructures. 2015. № 4. P. 9–15.
17. Woolenweber W.E., Halimi E.M. Compressor wheels and magnet assemblies for internal combustion engine supercharging devices. United States Patent № 6, 145, 314. Date of patent 14.11.2000. 9 p.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗА В СМАЗОЧНОМ МАТЕРИАЛЕ ТРАНСМИССИЙ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## DETERMINATION OF GAS CONCENTRATION IN THE LUBRICANT OF TRANSMISSIONS OF ENERGY-SATURATED AGRICULTURAL TRACTORS

**С.Н. ШУХАНОВ**, д.т.н.

Иркутский государственный аграрный университет  
имени А.А. Ежовского, Иркутская область,  
п. Молодежный, Россия, Shuhanov56@mail.ru

**S.N. SHUKHANOV**, DSc in Engineering

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky,  
Irkutsk region, Molodezhnyy, Russia, Shuhanov56@mail.ru

Обеспечение безотказной работы трансмиссии при эксплуатации энергонасыщенных тракторов – важная задача. Надежность ее функционирования во многом зависит от наличия в смазочной системе газа. Целью исследования является разработка методики определения количественного содержания газа в газомасляной смеси. В трансмиссиях тракторов состав газомасляной смеси может иметь различные значения, которые определяются, в основном, геометрическими размерами элементов сборочных единиц, скоростным режимом работы, температурой и сортом смазочного материала. Установить влияние указанных параметров можно путем регистрации состава газомасляной смеси при проведении испытаний как сборочных единиц, так и трансмиссий в целом, при установке на стенде или на тракторы. Выбор метода регистрации состава газомасляной смеси проводился исходя из анализа ряда работ, в которых приводятся различные способы анализа состава двухфазных смесей. Предъявляя требование универсальности метода, заключающейся в единой методике его применения, как в стендовых, так и в объектовых условиях, наибольший интерес представляет метод, связанный с отстоем проб. Предложены наиболее удачные точки в системе смазки трансмиссии, из которых наиболее удобно отбирать пробы, а также характеризующиеся наибольшим содержанием газа в масле. Также предложен наиболее простой и информативный метод для определения объемного содержания газа в смеси. Выведены расчетные зависимости, позволяющие учесть изменение объемного соотношения масло – газ за время отбора пробы. Разработанная методика позволяет сделать оценку необходимой производительности откачивающих насосов принудительных систем смазки. Методика может использоваться как при стендовых, так и при ходовых испытаниях.

**Ключевые слова:** энергонасыщенные тракторы, трансмиссия, смазочный материал, газомасляная смесь, испытания.

Ensuring the trouble-free operation of the transmission during the operation of energy-saturated tractors is an important task. The reliability of its operation largely depends on the presence of gas in the lubrication system. The aim of the study is to develop a methodology for determining the quantitative content of gas in a gas-oil mixture. In the tractor transmissions, the composition of the gas-oil mixture can have different values, which are determined mainly by the geometric dimensions of the elements of the assembly units, the speed mode of operation, the temperature and the grade of the lubricant. The influence of these parameters can be determined by recording the composition of the gas-oil mixture during tests, both assembly units and transmissions in general, when mounted on a test bench or on a tractor. The choice of the method for recording the composition of a gas-oil mixture was carried out on the basis of an analysis of a number of studies in which various techniques for analyzing the composition of two-phase mixtures are given. Demonstrating the requirement of universality of the method, consisting in a uniform method of its application, both in bench and in object conditions, the most interesting is the method associated with sample sludge. The most successful points of the transmission lubrication system are suggested, from which it is most convenient to take samples, as well as those characterized by the largest content of gas in the oil. Also the most simple and informative method for determining the volumetric gas content in the mixture is proposed. Calculated dependences are derived, allowing to take into account the change in the volumetric ratio of oil to gas during the sampling time. The developed method allows to make an assessment of the required capacity of bilge pumps of forced lubrication systems. The technique can be used both for bench and for road tests.

**Keywords:** energy-saturated tractor, transmission, lubricant, gas-oil mixture, tests.

## Введение

Трансмиссия в автотракторной технике работает в тяжелых эксплуатационных режимах. А в случае функционирования в энергонасыщенных тракторах – еще более напряженное. Для обеспечения безотказной работы необходимо исследовать условия ее эксплуатации, в частности наличие газа в системе смазки. Поэтому данный вопрос носит актуальный характер.

## Цель исследования

Целью исследования является разработка методики определения количественного содержания газа в газомасляной смеси.

## Материалы, методы и результаты исследования

Определение состава газомасляной смеси, под которым подразумевается удельное молярное соотношение газовой и масляной фаз, необходимо в первую очередь как для проведения расчетов систем смазки по методике, предложенной в ряде работ [1, 2], так и для оценки необходимой производительности откачивающих насосов принудительных систем смазки. В трансмиссиях тракторов и сельскохозяйственных машин состав газомасляной смеси может иметь различные значения, которые определяются, в основном, геометрическими размерами элементов сборочных единиц, скоростным режимом работы, температурой и сортом смазочного материала. Установить влияние указанных параметров можно путем регистрации состава газомасляной смеси при проведении испытаний как сборочных единиц, так и трансмиссий в целом, при установке на стенде или на тракторы или сельскохозяйственные машины.

Выбор метода регистрации состава газомасляной смеси проводился исходя из анализа ряда работ [3, 4], в которых приводятся различные способы анализа состава двухфазных смесей. В результате анализа установлено 5 основных методов измерения, краткие сведения о которых приведены в табл. 1. Предъявляя требование универсальности метода, заключающейся в единой методике его применения, как в стендовых, так и в объектовых условиях, наибольший интерес представляет метод, связанный с отстоем проб, который приведен в табл. 1 под номером 5.

Проведя выбор метода регистрации состава смеси, следует определить точку системы смазки, в которой будет проводиться регистрация. Точки для отбора проб должны быть легко доступны, а взятые из них пробы масла нести наибольшую информацию по поставленным вопросам. С этих позиций наибольший интерес представляют картеры сборочных единиц трансмиссий или области перед откачивающим насосом принудительных систем смазки. Отбор проб в любой другой точке связан со сложностью, требующей доработки конструкций, которые могут исказить картину протекающих процессов.

Благодаря наличию в картере паровоздушного клапана, давление в нем будет практически равно атмосферному, в результате чего объемное содержание газов и пузырьков в смеси будет иметь наибольшее значение [5, 6]; к тому же малое значение давления облегчит проведение отбора пробы. Наличие сливных отверстий у большинства картеров сборочных единиц не вызывает каких-либо трудностей при отборе проб как в стендовых, так и в объектовых условиях. Основные процессы насыщения газом

Таблица 1

Краткие характеристики методов измерения газосодержания в смазочных материалах

Метод измерения	Достоинства	Недостатки
1. Изотопный плотномер	Точность, непрерывность измерения, автоматическая регистрация данных	Сложное оборудование, выполнение требований к радиационной безопасности
2. Ультразвуковой плотномер	Непрерывность измерения, автоматическая регистрация	Низкая точность, сложное оборудование
3. Гидростатический плотномер	Точность, простота оборудования	Необходимость поддерживать постоянный состав пробы в течение определенного времени
4. Сжатие пробы	Точность, простота измерения	Необходимость наличия специального оборудования для отбора проб
5. Отстой пробы	Точность, простота, доступность	Длительность регистрации

смазочного материала, как следует из анализа работы систем смазки, происходят именно в картерах сборочных единиц. В силу этого за точку отбора проб необходимо и достаточно взять поддон картера сборочной единицы.

Физическое представление процесса определения газосодержания заключается в следующем.

Насыщенное газовыми пузырьками масло вливается в мерный сосуд. После заполнения сосуда регистрируется полученный объем газомасляной смеси. Затем происходит процесс отстоя, в течение которого газовые пузырьки под действием выталкивающей силы стремятся подняться на поверхность жидкости. На поверхности пузырьки лопаются, и находящейся в них газ попадает в окружающую среду. Если в процессе отстоя имело место снижения температуры пробы, то возможно частичное растворение газа в смазочном материале. В конце процесса отстоя (полное исчезновение газовых пузырьков в смазочном материале) проводится следующая регистрация объема. Соотношение объемов пробы до и после отстоя укажет относительное объемное содержание в смазочном материале газовых пузырьков.

Следует отметить, что произвести мгновенный отбор пробы, как правило, невозможно. Значит, за время, в течение которого проводился отбор, часть газовых пузырьков успеет выделиться из смеси, и, следовательно, состав ее в пробе не будет соответствовать составу, который находится в трансмиссии. В таких случаях необходимо проводить запись изменения объема пробы во времени в процессе ее отстоя с целью последующей экстраполяции процесса до момента начала отбора пробы. Запись изменения объема аппроксимировалась зависимостью:

$$\delta = \frac{V_r}{V_{cm}} = f(\tau), \quad (1)$$

где  $V_r$  – объем газа;  $V_{cm}$  – объем газомасляной смеси.

Плотность смеси в каждый момент времени определяется соотношением:

$$\rho_{cm} = \rho_m (1 - \delta),$$

где  $\rho_{cm}$  – плотность смеси;  $\rho_m$  – плотность масла.

По результатам экспериментов аппроксимация бралась в виде:

$$\delta = \frac{A}{\tau + a} + B, \quad (2)$$

где  $\tau$  – время в секундах;  $A, B, a$  – коэффициенты аппроксимации.

Для определения коэффициентов аппроксимации  $A, B, a$  достаточно трех экспериментальных точек  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ , снятых во время  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ . Обозначив  $\delta_1 - \delta_2 = \delta_{12}$ ;  $\delta_1 - \delta_3 = \delta_{13}$ , получим выражения для определения коэффициентов  $A, B, a$ :

$$\left\{ \begin{aligned} a &= \frac{\left( \frac{\delta_{12}}{\delta_{13}} \right) \tau_2 - \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_1} \tau_3}{(\tau_2 - \tau_1) / (\tau_3 - \tau_1) - \delta_{12} / \delta_{13}}; \\ A &= \frac{\delta_{12} (\tau_1 + a) (\tau_2 + a)}{\tau_2 - \tau_1}; \\ B &= \delta_1 - \frac{A}{\tau_1 + a}. \end{aligned} \right.$$

Более строго для анализа пробы можно воспользоваться и уравнением переноса газа маслом [3–6]. В это уравнения для пробы смеси  $div CV_M = 0$ ;  $Y_V = 0$ . Считая  $div \bar{j} \square div CV_r$  (молекулярный перенос газовых пузырьков происходит значительно менее интенсивно, чем перенос, обусловленный выталкивающими силами), получим уравнение концентрации газовых пузырьков для пробы газомасляной смеси:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -div C \bar{V}_r = -\frac{\partial}{\partial x} (CV_{Vx}).$$

Пренебрегая изменением скорости газа по высоте пробы, окончательно принимаем:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -V_r \frac{\partial c}{\partial x}.$$

Краевые условия задаются в виде:

$$X = 0; C = 0; \tau = 0; C = C_0.$$

Для решения уравнения применяется преобразование Лапласа по переменной  $X$ :

$$\frac{d\bar{c}}{d\tau} + V_r S \bar{c} = 0; \quad \bar{c}(0, S) = C_0 / S.$$

Решение уравнения запишется в виде:

$$\bar{c}(\tau, S) = C_0 / S_{exp} \left( -S \int_0^\tau V_r d\tau \right).$$

Учитывая, что:

$$e^{-as} / S \div \mathcal{V}(t-a), \text{ где } \mathcal{V}(t-a) = \begin{cases} 1 \text{ при } t > a \\ 0 \text{ при } t \leq a \end{cases},$$

получим:

$$c(\tau, x) = C_0 \mathcal{V} \left( x - \int_0^\tau V_r d\tau \right). \quad (3)$$

Величина  $\delta(\tau)$  из (1) с использованием (3) выразится:

$$\delta(\tau) = \left( \frac{V_{CM_0}}{F \int_0^\tau \mathcal{V}_r d\tau} - 1 \right)^{-1},$$

где  $V_{CM_0}$  – объем смеси в начальный момент времени;  $F$  – площадь мерного сосуда. Величина  $\mathcal{V}_r$  определяется экспериментально по изменению уровня газомасляной смеси в сосуде. По экспериментальной зависимости  $\mathcal{V}_r(\tau)$  численно определяется  $\int_0^\tau \mathcal{V}_r d\tau$ .

Проведенные расчеты показали удовлетворительное совпадение оценок плотности газомасляной смеси, полученных обоими методами. При этом, наименее трудоемка первая аппроксимация по формуле (2), что определило ее предпочтительное использование.

### Заключение

Разработанная методика дает возможность определять концентрацию газа в смазочном материале, использующемся в трансмиссиях тракторов и сельскохозяйственных машин. Значение концентрации газа необходимо для реализации разработанной методики расчета систем смазки; одновременно дает и возможность оценить необходимую производительность откачивающих насосов сборочных единиц трансмиссий. Методика может быть использована при стендовых и ходовых испытаниях как отдельных сборочных единиц, так и трансмиссий в целом.

### Литература

1. Маломыжев О.Л., Федотова Н.Е., Скutel'ник В.В. Метод расчета подач масла к деталям агрегатов сельскохозяйственных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 12. С. 19–22.
2. Маломыжев О.Л., Семенов А.Г., Скutel'ник В.В. Разработка методики расчета системы смазки деталей машин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 4 (32). С. 98–104.
3. Башкиров В.С., Капитонов О.К. Методика определения содержания нерастворенного газа в рабочей жидкости // Гидропривод и системы управления (строительных, тяговых и дорожных машин): межвузовский сборник. Новосибирск, 1976. С. 94–102.
4. Васильев А.М. Прибор для определения количества воздуха в перекачиваемой жидкости (фазометр). М.: Машгиз. 1952. № 11. С. 70–73.
5. Маломыжев О.Л., Скutel'ник В.В., Бектемиров А.С., Баранов А.В. Определение растворимости газа в маслах // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: межвузовский сборник научных трудов. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Барнаул, 2011. С. 21–29.
6. Бектемиров А.С., Маломыжев О.Л., Скutel'ник В.В. Исследование параметров растворимости газа в маслах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 5 (45). С. 125–128.

### References

1. Malomyzhev O.L., Fedotova N.E., Skutel'nik V.V. Method for calculating oil deliveries to parts of aggregates of agricultural machines. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. No 12, pp. 19–22 (in Russ.).
2. Malomyzhev O.L., Semenov A.G., Skutel'nik V.V. Development of a technique for calculating the lubrication system of machine parts. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii*. 2013. No 4 (32), pp. 98–104 (in Russ.).
3. Bashkirov V.S., Kapitonov O.K. Method for determining the content of undissolved gas in a working fluid. *Gidroprivod i sistemy upravleniya (stroitel'nykh, tyagovykh i dorozhnykh mashin): mezhvuzovskiy sbornik* [Hydraulic drive and control systems (construction, traction and road machines): interuniversity collection]. Novosibirsk, 1976, pp. 94–102 (in Russ.).
4. Vasil'ev A.M. Pribor dlya opredeleniya kolichestva vozdukh v perekachivaemoy zhidkosti (fazometr) [The device for determining the amount of air in the pumped liquid (phase meter)]. Moscow: Mashgiz. 1952. No 11, pp. 70–73 (in Russ.).
5. Malomyzhev O.L., Skutel'nik V.V., Bektemirov A.S., Baranov A.V. Determination of gas solubility in oils. *Raschet, diagnostika i povyshenie nadezhnosti elementov mashin: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova* [Calculation, diagnostics and increase of reliability of machine elements: interuniversity collection of scientific papers. Altai State Technical University named after I.I. Polzunov]. Barnaul, 2011, pp. 21–29 (in Russ.).
6. Bektemirov A.S., Malomyzhev O.L., Skutel'nik V.V. Investigation of the solubility parameters of gas in oils. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University]. 2010. No 5 (45), pp. 125–128 (in Russ.).



# ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЫЖИКОВО-МАСЛЯНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

## INVESTIGATIONS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF CAMELINA OIL MIXTURES FOR HYDRAULIC SYSTEMS OF AGRICULTURAL MACHINERY

**Ф.Ф. ЗАРТДИНОВ**  
**Ф.Ф. ЗАРТДИНОВА**  
**А.Л. ХОХЛОВ**, к.т.н.,  
**А.А. ГЛУЩЕНКО**, к.т.н.  
**И.Р. САЛАХУТДИНОВ**, к.т.н.

Ульяновский государственный аграрный университет  
имени П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия,  
faina-solnce@rambler.ru

**F.F. ZARTDINOV**  
**F.F. ZARTDINOVA**  
**A.L. KHOKHLOV**, PhD in Engineering  
**A.A. GLUSHCHENKO**, PhD in Engineering  
**I.R. SALAKHUTDINOV**, PhD in Engineering

Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin,  
Ulyanovsk, Russia, faina-solnce@rambler.ru

В статье рассматривается использование альтернативных минеральным и синтетическим нефтепродуктам масел растительного происхождения в качестве рабочей жидкости для гидравлических систем сельскохозяйственной техники. При выборе растительного масла использование рыжикового масла как более доступного и экономически дешевого сырья является наиболее целесообразным. К основным недостаткам растительных масел следует отнести низкую термоокислительную стабильность и неудовлетворительные низкотемпературные свойства. Поэтому использование растительных масел в гидросистемах возможно только в виде смесей с минеральным маслом. С целью изучения возможности использования растительно-минерального масла в качестве рабочей жидкости для гидросистем сельскохозяйственной техники были проведены лабораторные исследования физических свойств рыжиково-масляных смесей. Исследования включали в себя определение зависимости кинематической вязкости и плотности рыжиково-масляных смесей от температуры и проводились в различных пропорциях минерального гидравлического масла ВМГЗ (ГМ) и рыжикового масла (РыжМ): 100 % ГМ; 90 % ГМ – 10 % РыжМ; 75 % ГМ – 25 % РыжМ; 50 % ГМ – 50 % РыжМ; 25 % ГМ – 75 % РыжМ; 10 % ГМ – 90 % РыжМ; 100 % РыжМ. Определение физических свойств рыжиково-масляных смесей проводилось на криотермостате вискозиметрическом LOIPLT-912 с помощью ареометра АНТ-2 и капиллярных вискозиметров ВПЖ-4, ВПЖ-2 в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3675-2007 и ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), соответственно. По полученным результатам выявлено, что рыжиково-масляные смеси с соотношением 90 % ГМ – 10 % РыжМ и 75 % ГМ – 25 % РыжМ по вязкостно-температурным свойствам и плотности могут быть использованы как заменители товарного минерального гидравлического масла ВМГЗ. Результаты проведенных лабораторных исследований позволяют отобразить динамику изменения вязкостно-температурных и плотностных свойств рыжиково-масляных смесей различных концентраций.

**Ключевые слова:** растительное масло, кинематическая вязкость, плотность, рыжиково-масляная смесь, гидравлическая система.

The article considers the use of oils of vegetable origin alternative to mineral and synthetic oil products as a working fluid for hydraulic systems of agricultural machinery. When choosing vegetable oil, the use of camelina oil as a more affordable and economically cheap raw material is most appropriate. The main disadvantages of vegetable oils include low thermal and oxidative stability and unsatisfactory low-temperature properties. Therefore, the use of vegetable oils in hydraulic systems is possible only in the form of mixtures with mineral oil. To study the possibility of using vegetable-mineral oil as a working fluid for hydraulic systems of agricultural machinery, laboratory studies of the physical properties of camelina oil mixtures were carried out. The studies included the determination of the relationship between the kinematic viscosity and the density of the camelina oil mixtures from the temperature and were carried out in various proportions of the mineral hydraulic oil – multigrade oil hydraulic thickened (hydraulic oil – GM) and camelina oil (RyzhM) – 100 % GM, 90 % GM – 10 % RyzhM, 75 % GM – 25 % RyzhM, 50 % GM – 50 % RyzhM, 25 % GM – 75 % RyzhM, 10 % GM – 90 % RyzhM, 100 % RyzhM. Determination of the physical properties of the camelina oil mixtures was carried out on a cryo-thermostat with viscosimetric LOIPLT-912, using an ANT-2 hydrometer and capillary viscosimeter VPZh-4, VPZh-2 in accordance with GOST R ISO 3675-2007 and GOST 33-2000 (ISO 3104-94) respectively. Based on the results obtained, it was found that red-and-oil mixtures with a ratio 90 % GM – 10 % RyzhM и 75 % GM – 25 % RyzhM according to viscosity-temperature properties and density can be used as substitutes for merchant mineral hydraulic oil GM. The results of the laboratory tests allow us to display the dynamics of the change in viscosity-temperature and density properties of red-and-oil mixtures of various concentrations.

**Keywords:** vegetable oil, kinematic viscosity, density, camelina oil mixture, hydraulic system.

## Введение

В связи с неуклонным ухудшением экологической обстановки, ростом цен на нефтепродукты и постоянным увеличением спроса на минеральные смазочные материалы в промышленности во всем мире резко возрос интерес к практическому использованию продуктов растительного происхождения, в частности масел и смазок. Модификация минерального масла путем добавления непищевых растительных масел может свести к минимуму использование минерального масла в качестве смазки [1–8].

В последнее время наибольшее распространение получают растительные масла – рапсовое, пальмовое, подсолнечное, арахисовое и соевое. Однако использование рыжикового масла как более доступного и экономически дешевого сырья является наиболее целесообразным [1, 7].

Растительные масла имеют высокий индекс вязкости, высокую смазывающую способность, низкую токсичность и высокую биоразлагаемость. С точки зрения экономики растительное масло является более рентабельным по сравнению с минеральным маслом, однако недостатки растительных масел включают плохое окисление, гидролитическую стабильность и низкотемпературные свойства. Поэтому использование растительных масел в гидросистемах возможно только в виде смесей с минеральным маслом. Полученные при этом смеси имеют физико-химические и эксплуатационные свойства, близкие к свойствам минеральных гидравлических масел [2–5].

## Цель исследования

Целью исследования является исследование физических свойств рыжиково-масляных смесей для гидравлических систем сельскохозяйственной техники

## Методы и результаты исследования

Для установления соответствия показателей растительно-минерального масла товарному гидравлическому по вязкостно-температурным свойствам и плотности были проведены исследования на криотермостате вискозиметрическом LOIPLT-912 (рис. 1). Выбор рабочей жидкости осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ 33-2000: при температуре от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  использовали технический этиловый спирт, от  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  – дистил-

лированную воду, а от  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – водно-глицериновую смесь. Для исследований были приготовлены следующие пропорции минерального гидравлического масла ВМГЗ (ГМ) и рыжикового масла (РыжМ): 100 % ГМ; 90 % ГМ – 10 % РыжМ; 75 % ГМ – 25 % РыжМ; 50 % ГМ – 50 % РыжМ; 25 % ГМ – 75 % РыжМ; 10 % ГМ – 90 % РыжМ; 100 % РыжМ.

Определение плотности смесей проводили с помощью ареометра АНТ-2 (ГОСТ 18481-81) различных диапазонов измерения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3675-2007 (рис. 2).

Мерный цилиндр наполняли исследуемой смесью и помещали в криотермостат. При установлении в цилиндре заданной температуры опускали ареометр. После того как прекратятся колебания ареометра, производили отсчет плотности по верхнему краю мениска с точностью до единицы. В табл. 1 представлены результаты исследования плотности чистых исследуемых масел и их смесей в различных пропорциях.

Из вышеприведенных данных видно, что плотность рыжиково-масляных смесей с соотношением 90 % ГМ – 10 % РыжМ и 75 % ГМ – 25 % РыжМ при температуре  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответствует минеральному гидравлическому маслу. Смеси составов 50 % ГМ – 50 % РыжМ, 25 % ГМ – 75 % РыжМ и 10 % ГМ – 90 % РыжМ

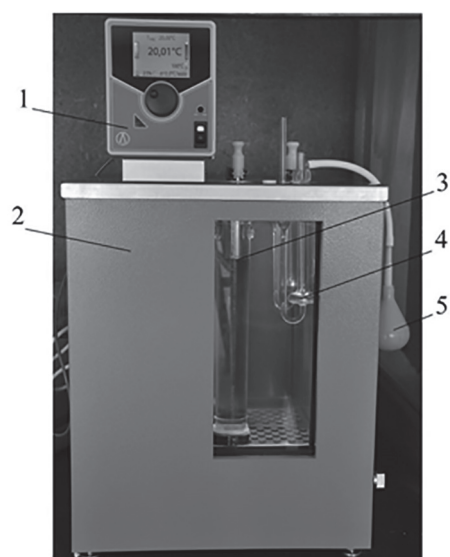


Рис. 1. Оборудование для определения плотности и вязкости:

- 1 – модуль терморегулирования криотермостата;
- 2 – модуль охлаждения криотермостата; 3 – прибор для определения плотности; 4 – капиллярный вискозиметр; 5 – груша

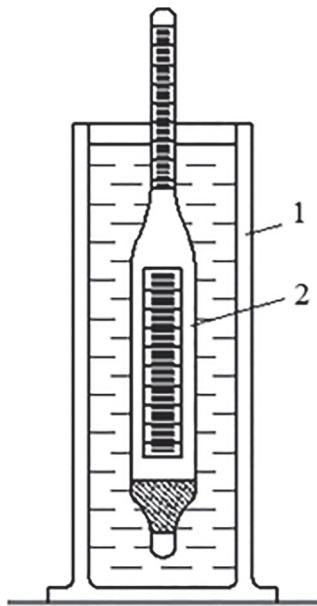


Рис. 2. Прибор для определения плотности:  
1 – мерный цилиндр; 2 – ареометр

превосходят плотность минерального гидравлического масла соответственно на 25 кг/м<sup>3</sup>, 44 кг/м<sup>3</sup> и 55 кг/м<sup>3</sup>. Плотность рыжикового масла превышает значение минерального гидравлического масла на 66 кг/м<sup>3</sup>.

Определение кинематической вязкости проводили с помощью капиллярных вискозиметров в соответствии с ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94) (рис. 3) [6].

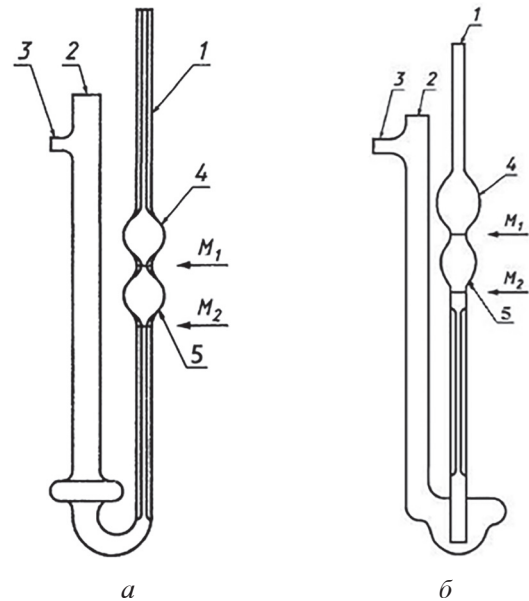


Рис. 3. Капиллярные вискозиметры:  
а – ВПЖ-4; б – ВПЖ-2; 1, 2 – колено;  
3 – отводная трубка; 4, 5 – расширения;  
M<sub>1</sub> – верхняя метка; M<sub>2</sub> – нижняя метка

Вискозиметр наполняли исследуемой смесью: надев на отводную трубку 3 грушу и, перевернув вискозиметр, зажимали колено 2, затем опускали колено 1 в тигель со смесью, создав разрежение грушей, заполняли вискозиметр. Наполнив вискозиметр до метки M<sub>1</sub>, переворачивали, направив открытые концы его колен вверх. Затем снимали грушу и надевали

Таблица 1

Плотность минерального гидравлического масла, рыжикового масла и рыжиково-масляных смесей

Показатель	Плотность исследуемых масел, кг/м <sup>3</sup>						
	100% ГМ	90% ГМ -10% РыжМ	75% ГМ -25% РыжМ	50% ГМ -50% РыжМ	25% ГМ -75% РыжМ	10% ГМ -90% РыжМ	100% РыжМ
-40°C	894	900	910	923	945	956	958
-20°C	880	886	896	911	931	942	946
-10°C	873	879	889	905	924	935	940
-5°C	870	875	886	902	921	932	938
0°C	865	870	883	898	916	927	934
10°C	861	862	876	888	909	920	927
20°C	855	855	870	882	904	915	923
30°C	849	849	863	876	895	906	916
40°C	844	843	857	869	888	899	910
50°C	837	836	850	863	881	892	903
60°C	830	830	845	856	874	885	896
70°C	823	827	839	854	870	881	888
80°C	816	822	833	848	864	875	881
100°C	800	808	819	834	850	861	867

ее на колено  $I$ . При достижении рабочей жидкости криотермостата заданной температуры погружали вискозиметр в криотермостат и выдерживали его 10–15 мин. Не вынимая вискозиметр, медленно закачивали смесь в расширения 5 и 4 до 1/3 высоты расширения 4. Прекратив закачивание, снимали грушу с колена  $I$  и определяли время перемещения уровня смеси от метки  $M_1$  до метки  $M_2$ . Опыт проводили на одной пропорции 3 раза.

Вычисляли кинематическую вязкость  $\nu$  по формуле:

$$\nu = C t,$$

где  $C$  – постоянная вискозиметра  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ;  $t$  – среднее арифметическое значение времени истечения, с.

В табл. 2 представлены результаты исследования кинематической вязкости чистых исследуемых масел и их смесей в различных пропорциях.

Из вышеприведенных данных видно, что кинематическая вязкость рыжиково-масляных смесей с соотношением 90 % ГМ – 10 % РыжМ и 75 % ГМ – 25 % РыжМ при температуре 40 °С близка к значению минерального гидравлического масла. Смесей составов 50 % ГМ – 50 % РыжМ, 25 % ГМ – 75 % РыжМ, 10 % ГМ – 90 % РыжМ превосходят значение минерального гидравлического масла

соответственно на 5,063  $\text{мм}^2/\text{с}$ , 8,432  $\text{мм}^2/\text{с}$ , 12,042  $\text{мм}^2/\text{с}$ . Вязкость рыжикового масла превышает значение минерального гидравлического масла на 14,102  $\text{мм}^2/\text{с}$ .

## Выводы

Результаты проведенных лабораторных исследований позволяют отобразить динамику изменения вязкостно-температурных и плотностных свойств рыжиково-масляных смесей различных концентраций. Основываясь на результатах исследований, можно сделать выводы, что рыжиково-масляные смеси с соотношением 90 % ГМ – 10 % РыжМ и 75 % ГМ – 25 % РыжМ по вязкостно-температурным свойствам и плотности могут быть использованы как заменители товарного минерального гидравлического масла ВМГЗ.

## Литература

1. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Гузьев А.А., Хохлов А.Л., Глушенко А.А. Анализ условий долговечности гидросистем сельскохозяйственной техники // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». Ульяновск: УГСХА, 2017. С. 101–106.
2. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Хохлов А.А., Хохлов А.Л., Марьян Д.М. Перспективы исполь-

Таблица 2

Вязкость минерального гидравлического масла, рыжикового масла и рыжиково-масляных смесей

Показатель	Кинематическая вязкость исследуемых масел, $\text{мм}^2/\text{с}$						
	100% ГМ	90% ГМ -10% РыжМ	75% ГМ -25% РыжМ	50% ГМ -50% РыжМ	25% ГМ-75% РыжМ	10% ГМ -90% РыжМ	100% РыжМ
-40°С	1503,831	1531,215	1607,841	1898,881	2375,971	2948,947	3992,264
-20°С	821,766	827,684	846,323	940,040	1120,741	1352,728	1798,317
-10°С	236,744	237,159	238,401	241,036	269,409	314,588	408,254
-5°С	141,175	142,045	143,235	148,585	168,924	216,763	233,708
0°С	100,676	102,236	103,436	110,156	125,725	158,682	142,285
10°С	59,72	64,306	66,877	68,276	69,417	78,897	78,627
20°С	36,308	38,718	41,337	45,407	51,737	50,518	49,798
30°С	23,599	25,188	27,228	30,298	34,838	39,968	33,658
40°С	16,316	17,409	18,949	21,379	24,748	28,358	30,418
50°С	11,86	12,619	13,859	15,659	18,349	20,949	22,459
60°С	8,986	9,529	10,489	11,969	14,129	16,089	17,209
70°С	7,32	7,632	8,397	9,66	11,277	12,735	13,209
80°С	5,871	6,129	6,732	7,782	9,135	10,263	11,239
100°С	3,921	4,253	4,458	5,092	6,102	7,010	7,743

зования рыжикового масла в гидравлических системах // *Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения»*. Ульяновск: УГСХА, 2017. С. 107–111.

3. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Хохлов А.Л., Глущенко А.А., Салахутдинов И.Р. Технология диагностирования технического состояния агрегатов гидросистем // *Международный конкурс научно-исследовательских работ «Перспективы Науки – 2016»*. Казань: «Рокета Союз», 2016. С. 159–162.
4. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Хохлов А.Л., Глущенко А.А., Салахутдинов И.Р. Результаты исследований рабочей жидкости для гидравлических систем на основе рыжикового масла // *Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 65-летию ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА, «Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России»*. Пенза: РОИ ПГСХА, 2016. Т. II. С. 82–84.
5. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Долгов С.А., Хохлов А.Л. Диагностирование технического состояния гидросистем сельскохозяйственной техники на предлагаемой установке // *Аннотация проектов «Пятый Международный Молодежный инновационный форум»*. Ульяновск: УЛГТУ, 2016. С. 196–199.
6. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Глущенко А.А., Хохлов А.Л. Определение свойств вязкости и плотности рыжиково-масляных смесей для гидравлических систем // *Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК»*. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. Ч III. С. 47–50.
7. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Хохлов А.Л., Глущенко А.А., Салахутдинов И.Р. Research camelina-oil mixture for use in hydraulic systems // *2nd International Conference «Science and practice: a new level of integration In the modern world»*. Scope Academic House B&M Publishingc, 2016. С. 157–159.
8. Зартдинов Ф.Ф., Зартдинова Ф.Ф., Хохлов А.Л., Салахутдинов И.Р., Глущенко А.А. Классификация методов диагностирования гидравлических систем // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения»*. Ульяновск, 2016. Том II. С. 47–52.

## References

1. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Guzyaev A.A., Khokhlov A.L., Glushchenko A.A. Analysis of the durability conditions of hydraulic systems of agricultural machinery. *Materials VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya»* [Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference «Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and ways of solving them»]. Ul'yanovsk: UGSKhA Publ., 2017, pp. 101–106 (in Russ.).
2. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Khokhlov A.A., Khokhlov A.L., Mar'in D.M. Prospects for using camelina oil in hydraulic systems. *Materials VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya»* [Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference «Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and ways of solving them»]. Ul'yanovsk: UGSKhA Publ., 2017, pp. 107–111 (in Russ.).
3. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Khokhlov A.L., Glushchenko A.A., Salakhutdinov I.R. The technology of diagnosing the technical condition of aggregates of hydraulic systems. *Mezhdunarodnyy konkurs nauchno-issledovatel'skikh rabot «Perspektivy Nauki – 2016»* [International competition of scientific research «Perspectives of Science – 2016»]. Kazan': «Ryketa Soyuz» Publ., 2016, pp. 159–162 (in Russ.).
4. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Khokhlov A.L., Glushchenko A.A., Salakhutdinov I.R. Results of research of a working liquid for hydraulic systems on the basis of camelina-oil. *Materials mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennoy 65-letiyu FGBOU VO Penzenskaya GSKhA «Vklad molodykh uchenykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii»* [Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 65th anniversary of the FGBOU VO Penza State Agricultural Academy «The Contribution of Young Scientists to the Innovation Development of the Agroindustrial Complex of Russia»]. Penza: ROI PGSKhA Publ., 2016. Vol. II, pp. 82–84 (in Russ.).
5. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Dolgov S.A., Khokhlov A.L. Diagnosis of technical condition of hydraulic systems of agricultural machinery on the proposed installation. *Annotatsiya proektov «Pyatyy Mezhdunarodnyy Molodezhnyy innovat-*

- sionnyy forum» [Abstract of the projects «The Fifth International Youth Innovation Forum»]. Ul'yanovsk: UIGTU Publ., 2016, pp. 196–199 (in Russ.).
6. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Glushchenko A.A., Khokhlov A.L. Determination of viscosity and density properties of camelina oil mixtures for hydraulic systems. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK» [Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists «Innovative Technologies and Technical Means for the Agroindustrial Complex»]. Voronezh: FGBOU VO Voronezhskiy GAU Publ., 2016. Ch. III, pp. 47–50 (in Russ.).
  7. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Khokhlov A.L., Glushchenko A.A., Salakhutdinov I.R. Research camelina-oil mixture for use in hydraulic systems. 2nd International Conference «Science and practice: a new level of integration In the modern world». Scope Academic House B&M Publishings, 2016, pp. 157–159 (in Russ.).
  8. Zartdinov F.F., Zartdinova F.F., Khokhlov A.L., Salakhutdinov I.R., Glushchenko A.A. Classification of methods for diagnosing hydraulic systems. Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya» [Materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and ways of solving them»]. Ul'yanovsk, 2016. Vol. II, pp. 47–52 (in Russ.).

# ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ДВС ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

## INCREASE OF DURABILITY AND WEAR RESISTANCE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE PARTS BY CHANGING THEIR DESIGN FEATURES

**В.А. КОЧЕНОВ<sup>1</sup>**, к.т.н.  
**К.Е. ГРУНИН<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Нижегородская ГСХА

<sup>2</sup> Нижегородский ГИЭУ, Нижний Новгород, Россия,  
konst.grunin2010@yandex.ru

**V.A. KOCHENOV<sup>1</sup>**, PhD in Engineering  
**K.E. GRUNIN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Nizhny Novgorod State Agricultural Academy

<sup>2</sup> Nizhny Novgorod State University of Engineering  
and Economics, Russia, konst.grunin2010@yandex.ru

На основании закономерностей износа, изменения и перераспределения нагрузок в процессе эксплуатации разработаны конструкторские решения повышения долговечности и износостойкости трибосопряжений кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания. При разнообразии и разбросе факторов, определяющих долговечность и износостойкость, изменение износа и интенсивности износа в процессе эксплуатации имеет выраженный закономерный характер. У теоретического сопряжения нет периода приработки – оптимальные, т.е. приработанные геометрические параметры пары трения создаются в процессе механической обработки трущихся поверхностей деталей. Вследствие отсутствия периода приработки, ресурс теоретического – изготовленного с параметрами, соответствующими приработанным, – больше ресурса действительного неприработанного сопряжения. Как правило, трущиеся поверхности деталей машин имеют выраженный естественный, закономерный износ. Отклонения от естественного износа (нестественный износ) обусловлены: тяжелыми условиями работы без нарушения правил эксплуатации; нарушением технических условий – браком в изготовлении и в эксплуатации; несовершенным проектированием вследствие недостаточной изученности проблемы и ошибочно определенными техническими условиями на изготовление и эксплуатацию.

Эффективность восстановления работоспособности цилиндропоршневой группы заменой колец без замены цилиндров исследуется на 4-тактном, 4-цилиндровом двигателе ЗМЗ-402. В двух цилиндрах меняются поршни и кольца, в двух других – только кольца. В цилиндрах со старыми поршнями приработка протекает интенсивнее. По окончании холодной обкатки компрессия в цилиндрах со старыми поршнями выше, чем в цилиндрах с новыми поршнями. Эффективность достигается за счет большего соответствия геометрических параметров трибосопряжений со старыми поршнями своим приработанным значениям. Анализ натурных исследований подтверждает правомерность гипотезы теоретического исследования.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, трибосопряжение, долговечность, износостойкость, естественный износ, площадь скольжения, давление.

Based on the patterns of wear, change and redistribution of loads during operation, design solutions have been developed to improve the durability and wear resistance of tribo-joints of the crank mechanism and the cylinder-piston group of the internal combustion engine. With a variety and dispersion of factors determining durability and wear resistance, the change in wear and wear intensity during the operation has a pronounced regular character. Theoretical coupling does not have a run-in period – optimal, i.e. the obtained geometric parameters of the friction pair are created during the machining of friction surfaces of the parts. Due to the lack of a run-in period, the theoretical resource – produced with the expected parameters, the more effective the actual unattended interface. As a rule, friction surfaces of machine parts have a pronounced, natural, regular wear. Deviations from natural wear (unnatural wear) are caused by: severe working conditions without violating the rules of operation; violation of technical conditions – defective products in manufacture and in operation; imperfect design due to insufficient knowledge of the problem and mistakenly defined technical conditions for production and operation. The efficiency of restoring the efficiency of the cylinder-piston group by replacing the rings without replacement of the cylinders is investigated on a 4-stroke, 4-cylinder engine ZMZ-402. In two cylinders pistons and rings change, in the other two only rings. In the cylinders with old pistons, the running-in proceeds more intensively. At the end of cold running-in, compression in cylinders with old pistons is higher than in cylinders with new pistons. Efficiency is achieved due to a greater correspondence of the geometric parameters of tribo-conjugations with old pistons to its accumulated values. The analysis of field studies confirms the legitimacy of the hypothesis of the theoretical study.

**Keywords:** Internal combustion engine, tribocoupling, durability, wear resistance, natural wear, slip area, pressure.

## Введение

Как правило, трущиеся поверхности деталей машин имеют выраженный естественный, закономерный износ. Отклонения от естественного износа (неестественный износ) обусловлены: тяжелыми условиями работы без нарушения правил эксплуатации; нарушением технических условий – браком в изготовлении и в эксплуатации; несовершенным проектированием вследствие недостаточной изученности проблемы и ошибочно определенными техническими условиями на изготовление и эксплуатацию [1–3].

## Результаты анализа

Естественный износ цилиндра (рис. 1, *а*) характеризуется овальностью, конусообразностью, ступенчатостью, переменной интенсивностью износа ступеней в процессе эксплуатации. Овальность объясняется действием нормальной силы, определяющей «рабочие», изнашивающиеся поверхности цилиндра и поршня; конусообразность – более тяжелыми условиями работы в верхней части цилиндра. Ступенчатость обусловлена зависимостью износа от компрессионных колец – ступени располагаются в верхней мертвой точке, число ступеней равно числу колец. Переменная интенсивность износа ступеней объясняется в начале эксплуатации интенсивным износом пары цилиндр – верхнее кольцо, потом износом этой пары, перераспределением нагрузок

и повышением интенсивности износа пар цилиндр – нижние кольца.

Естественный износ поршня характеризуется неравномерным износом юбки, нагаром и прогоранием поверхности по оси поршневого пальца, неравномерным износом канавок под кольца. Износ юбки объясняется действием нормальной силы. Износ внизу юбки (рис. 1, *б*) наблюдается у поршней, вырабатывающих высокий ресурс. Износ поверхности, примыкающей к днищу поршня (рис. 1, *в*), является следствием неправильно определенных температурных деформаций, нарушений размеров деталей, перегрева двигателя. Износ юбки с двумя обособленными поверхностями наблюдается у поршней, работающих со стуком. Износ на рис. 1, *г* свидетельствует о большом размахе перекосов поршня и обуславливает повышенный расход масла на угар. Нагар и прогорание поршня объясняется плохой герметичностью трибосопряжений ЦПГ по оси пальца, особенно при положении замка компрессионных колец по оси пальца (рис. 1, *д*). Под действием давления газов кольцо разгибается, образуя зоны повышенных зазоров  $\mathcal{Z}$ .

Неравномерный износ канавок объясняется их неравной удаленностью от камеры сгорания. Износ компрессионных колец характеризуется повышенным износом верхнего кольца, односторонним износом кольца по высоте и, как правило, большим износом кольца относительно износа канавки. Упругость и давление

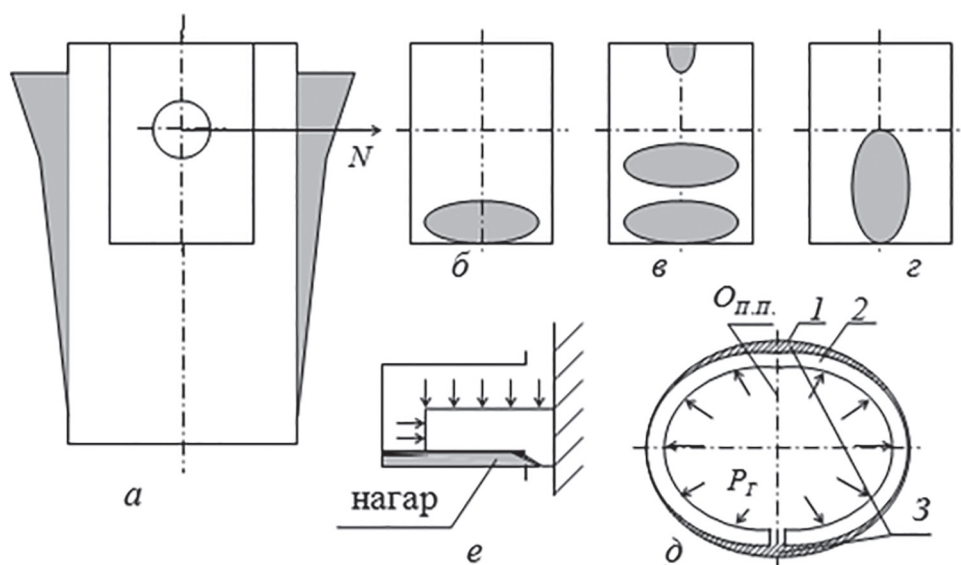


Рис. 1. Износ деталей цилиндропоршневой группы:

*а* – цилиндра; *б*, *в*, *г* – поршня; *д* – прорыв газов по оси поршневого пальца; *е* – образование нагара в трибосопряжении «кольцо – канавка»



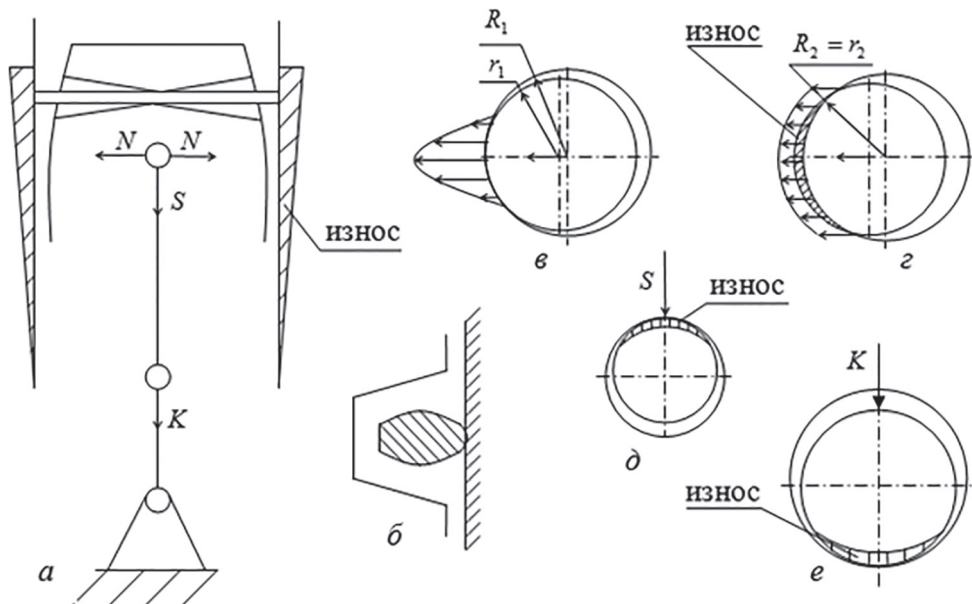
газов определяют изнашивающиеся поверхности кольца – это поверхность, составляющая пару трения с цилиндром и пару трения с нижней стенкой канавки поршня (рис. 1, *д*). В процессе эксплуатации на канавке образуется нагар, защищающий ее от изнашивания, но ухудшающий триботехнические свойства и увеличивающий односторонний износ кольца.

Естественный износ шатунных сопряжений коленчатого вала характеризуется: равным износом сопряжений, относящихся к разным цилиндрам; односторонним износом шейки; большим износом вкладыша расположенного в шатуне – верхний вкладыш. Равный износ сопряжений объясняется равными нагрузками, смазыванием и т.д. Односторонний износ шейки и повышенный износ верхнего вкладыша объясняется переменным и циклическим характером нагрузок, действующих на сопряжение.

Износ коренных сопряжений характеризуется: неравномерным износом шейки; большим износом вкладыша, расположенного в крышке, – нижний вкладыш; разным износом сопряжений относительно друг друга; меньшими отклонениями от округлости сопряжений, находящихся рядом с маховиком. Неравномерный износ шейки, а также больший износ нижнего вкладыша, аналогично шатунному сопряжению, объясняется неравномерным на-

гружением в течение цикла. Разный износ сопряжений относительно друг друга определяется конструктивными особенностями КШМ и двигателя в целом. Особый износ сопряжений, расположенных рядом с маховиком, объясняется тем, что маховик сглаживает крутильные колебания и обладает гироскопическим эффектом, уменьшающим перекосы вала и пиковые нагрузки на близко расположенные к маховику опоры.

Наибольшая загруженность и максимальный износ трибосопряжений ДВС приходится при прохождении поршнем верхней мертвой точки между тактами сжатия и расширения (рис. 2, *а*). В этой точке, кроме высоких температур и нагрузок, нормальная сила  $N$  меняет направление, что приводит к перекадке поршня в цилиндре. Для плавности перекадки поршни, как правило, изготавливаются с бочкообразным профилем образующей. Бочкообразными предлагается выполнять и компрессионные кольца (рис. 2, *б*). Бочкообразная форма обеспечит стабильную площадь скольжения и давление на трущиеся поверхности пар трения. Переменный зазор между кольцом и канавкой нужен для того, чтобы во время перекадки поршень не захватывал и не отрывал кольцо от цилиндра. Это уменьшит вероятность прорыва газов между кольцом и цилин-



**Рис. 2. Естественный износ и проектирование трибосопряжений:**

- а* – положение максимального износа деталей КШМ и ЦПГ; *б* – сопряжение «поршень – кольцо – цилиндр» с бочкообразным кольцом и переменным зазором между кольцом и канавкой;
- в, г* – распределение нагрузки в неприработанном и приработанном сопряжении «поршень – цилиндр»;
- д, е* – шатунное и коренное сопряжение коленчатого вала

дром, снизятся сухое трение и задиры трущихся поверхностей, уменьшится ступенчатость износа зеркала цилиндра [4].

Интенсивность износа  $\frac{dW}{d\tau}$  зависит от давления  $p$  на трущиеся поверхности:  $\frac{dW}{d\tau} = k \cdot p^m$ , где  $k, m$  – коэффициенты. Для уменьшения пиковых давлений, закономерных для ДВС, наиболее нагруженные секторы сопряжений должны иметь направленно увеличенную площадь скольжения. Например, в опорах коленчатых валов современных двигателей нижний вкладыш изготавливается без канавки для смазочного материала. За счет увеличения площади скольжения в момент максимальной нагрузки снижается давление на трущиеся поверхности. Аналогичного результата можно добиться приданием деталям геометрических параметров, соответствующих приработанным, т.е. изношенным. В секторе максимального износа (рис. 2, в) юбку поршня предлагается изготавливать радиусом, равным радиусу цилиндра (рис. 2, з). Аналогичная, приработанная форма предлагается и для шатунного и коренного сопряжений коленчатого вала (рис. 2, д, е) [5].

Для повышения герметичности цилиндропоршневой группы технические условия на сборку двигателя: 1) запрещают установку замков колец по оси пальца; 2) цилиндры с «технологической» овальностью из-за несовершенного изготовления зеркала рекомендуется устанавливать противоположно (перпендикулярно) изношенным. Целью сборки является создание в максимально изнашиваемых зонах сопряжения минимальных зазоров для отдаления аварийного периода эксплуатации и повышения долговечности ДВС.

Идея восстановления работоспособности трибосопряжений отражена на рис. 3. При выработке ресурса  $\tau_2$ , ограниченного предельным зазором  $S_2$ , проводится операция, компенсирующая износ и сохраняющая приработанные параметры сопряжения. Восстановленное сопряжение снова эксплуатируется (кривая 2), отличаясь от нового меньшим зазором –  $S_1^1 < S_1$  и временем прирабатывания –  $\tau_1^1 < \tau_1$ . Уменьшение достигается за счет «предыдущей» приработки пары трения.

Восстановление подшипниковых сопряжений заключается в подтяжке или замене вкладышей (рис. 4). Подтяжка применяется при действии на вал сил, имеющих постоянное направление относительно подшипника  $P_T$  (рис. 4, а, б, в). Вновь изготовленное сопряжение характеризуется малой площадью скольжения трущихся поверхностей и в рабочем положении является несоосным – ось подшипника  $O_3$  не совпадает с осями вала  $O_1$  и вращения  $O_2$  (рис. 4, а). В процессе прирабатывания образуется новая форма подшипника, увеличивая площадь скольжения, и ось вновь образуемой трущейся поверхности подшипника изменяет свое положение  $O_3^1$  (рис. 4, б). Новая ось совпадает с осями вала  $O_1$  и вращения  $O_2$ , и в рабочем положении узел трения становится соосным. Восстановление работоспособности заключается в удалении из разъема  $A - A$  части прокладок (рис. 4, в). Подтяжка, компенсируя износ, не уменьшает площадь скольжения и не нарушает достигнутой при «предыдущем прирабатывании» соосность трибосопряжения.

Замена вкладышей применяется при действии сил, имеющих постоянное направление

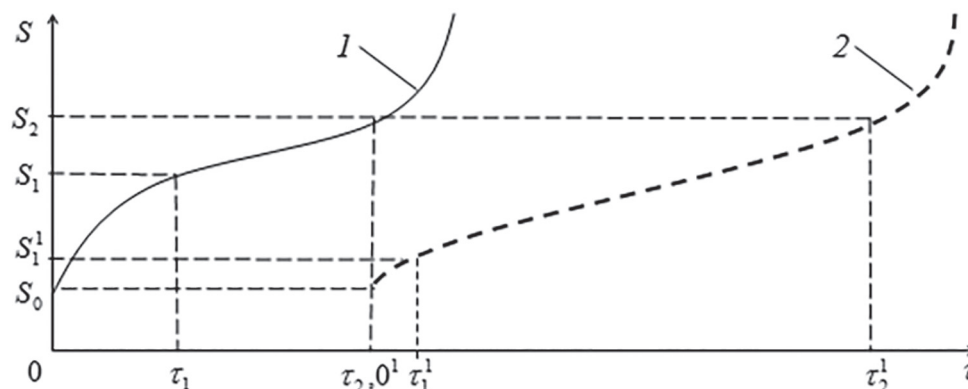


Рис. 3. Изменение зазора  $S$  от наработки  $\tau$  нового 1 и восстановленного 2 сопряжений:

$S_0, S_1, S_1^1, S_2$  – зазоры начала эксплуатации, окончания приработки, начала аварийного изнашивания;  
 $\tau_1, \tau_2, \tau_1^1, \tau_2^1$  – наработка периодов приработки и нормальной эксплуатации

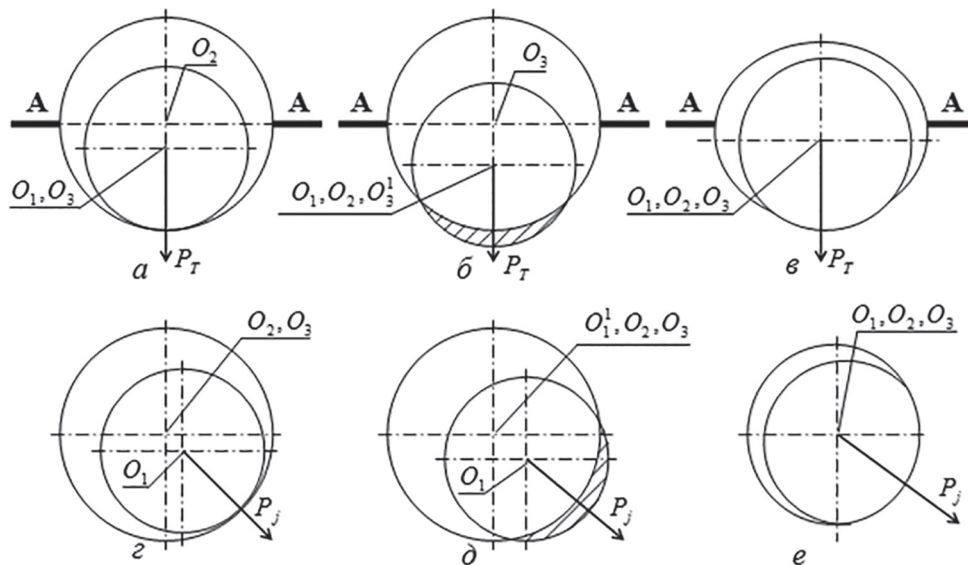


Рис. 4. Восстановление работоспособности подшипниковых узлов скольжения подтяжкой (а, б, в) и заменой вкладышей (г, д, е)

относительно вала  $P_j$  (рис. 4, г). Сопряжение является несоосным – ось вала  $O_1$  не совпадает с осями подшипника  $O_3$  и вращения  $O_2$ . В процессе изнашивания образуется новая форма трущейся поверхности вала с осью  $O_1'$ , увеличивается площадь скольжения, достигается соосность узла трения (рис. 4, д). Приработка происходит за счет износа вала. После замены вкладышей износ компенсируется, уменьшается зазор, практически не нарушая площадь скольжения и соосность сопряжения.

Эффективность восстановления работоспособности ЦПГ заменой колец без замены

цилиндров исследуется на 4-тактном, 4-цилиндровом двигателе ЗМЗ-402 (рис. 5). В двух цилиндрах меняются поршни и кольца, в двух других – только кольца. В цилиндрах со старыми поршнями приработка протекает интенсивнее. По окончании холодной обкатки компрессия в цилиндрах со старыми поршнями выше, чем в цилиндрах с новыми поршнями. Эффективность достигается за счет большего соответствия геометрических параметров трибосопряжений со старыми поршнями своим приработанным значениям.

Анализ натуральных исследований подтверждает правомерность гипотезы теоретического исследования.

### Заключение

Проектирование приработанных трибосопряжений с соответствующей модернизацией производства трущихся поверхностей деталей уменьшит период приработки и повысит долговечность и износостойкость узлов трения.

### Литература

1. Коченов В.А. Конструирование и эксплуатация автомобильных двигателей. Княгинино: Нижегород. гос. инж.-эконом. ин-т, 2009. 163 с.
2. Коченов В.А. Естественный износ и проектирование приработанных трибосопряжений поршневых ДВС // Вестник машиностроения. 2013. № 1. С. 34–38.
3. Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Буше Н.А. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Под

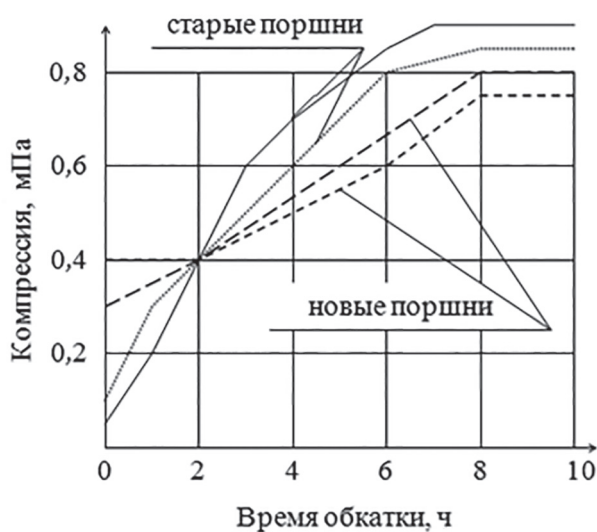


Рис. 5. Изменение компрессии в процессе холодной обкатки двигателя

общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.

4. Чекушин В.Н., Коченов В.А., Жолобов Л.А. Цилиндропоршневая группа: патент на полезную модель № 10785, Российская Федерация. Опубликовано 01.09.99. Бюл. № 8.
5. Чекушин В.Н., Коченов В.А., Жолобов Л.А. Подшипник скольжения: патент на полезную модель № 10806, Российская Федерация. Опубликовано 6.08.99. Бюл. № 8.

### References

1. Kochenov V.A. Konstruirovaniye i ekspluatatsiya avtomobil'nykh dvigateley [Design and operation of automobile engines]. Knyaginino: Nizhegorod. gos. inzh.-ekonom. in-t Publ., 2009. 163 p.
2. Kochenov V.A. Natural wear and design of worn out tribo-joints of piston engines. Vestnik mashinostroeniya. 2013. No 1, pp. 34-38 (in Russ.).
3. Chichinadze A.V., Braun E.D., Bushe N.A. i dr. Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka) [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. Pod obshch. red. A.V. Chichinadze. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2001. 664 p.
4. Chekushin V.N., Kochenov V.A., Zholobov L.A. Tsilindroporshnevaya gruppa [Cylinder piston group]: patent na poleznuyu model' No 10785, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 01.09.99. Byul. No 8.
5. Chekushin V.N., Kochenov V.A., Zholobov L.A. Podshipnik skol'zheniya [Plain bearings]: patent na poleznuyu model' No 10806, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 6.08.99. Byul. No 8.

# И ВНОВЬ О ДЕЛЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВАЖНОСТИ

## THE MATTER OF EXTREME NATIONAL IMPORTANCE

**Н.Н. КОЛЧИН**, д.т.н.  
**В.Н. ЗВОЛИНСКИЙ**

ФГБНУ «ФНАЦ ВИМ», Москва, Россия, kolchin@mail.ru

**N.N. KOLCHIN**, DSc in Engineering  
**V.N. ZVOLINSKIY**

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia,  
kolchin@mail.ru

Сообщается об истории развития отечественной отрасли сельхозмашиностроения. Отмечается, что начало современного развития отрасли положено Декретом СНК СССР от 1 апреля 1921 г., в котором оно признается как «...дело чрезвычайной государственной важности». В Декрете излагается комплекс мер по созданию отрасли как основы развития сельского хозяйства страны. В статье говорится о создании в разных регионах страны: головного института ВИСХОМ, профильных НИИ, ГСКБ, СКБ и различных заводов. Дается анализ деятельности ВИСХОМ – ведущего комплексного центра научных исследований и практических разработок новой и перспективной техники для сельского хозяйства, включая подготовку научных кадров, который сыграл основную роль в развитии отечественного сельхозмашиностроения и комплексной механизации сельского хозяйства страны в 20–30-х гг. и его восстановлении в послевоенные годы прошлого века, в достижении к 1947 г. довоенного объема производства сельхозтехники. Отмечается, что ВИСХОМ разработано и произведено в отрасли большое количество новых машин; опубликовано много монографий и сборников статей и других научных трудов, составлены научно-технические отчеты по результатам их внедрения НИОКР, институтом оказывалась научно-техническая помощь КБ и заводам отрасли по созданию и производству новой техники, методической и нормативной документации. Отмечен значительный вклад ВИСХОМ в разработку и внедрение Систем машин и технологий в сельское хозяйство страны. Сообщается, что Генеральная Ассамблея ООН признала необходимость увеличения в мире производства продовольствия. При этом, Россия обладает уникальным аграрным потенциалом и может обеспечить себя качественной, возобновляемой продукцией и поставку ее на мировой рынок. Отмечается, что ряд проблем отечественного АПК остаются нерешенными, например недостаточная его поддержка государством, ликвидация НИИ отрасли, в том числе ВИСХОМ и ряда заводов. Указывается на необходимость масштабного возрождения отечественного сельхозмашиностроения как эффективной научно-производственной системы по созданию и производству современной техники высокого качества и надежности для нашего сельского хозяйства с обширным набором культур и различными технологиями. Будущее сельского хозяйства России – в использовании современных машинных технологий как основы продовольственной безопасности страны и конкурентоспособности российского продовольствия на внутреннем и мировом рынках.

**Ключевые слова:** сельхозмашиностроение, Декрет СНК СССР от 1 апреля 1921 г., институт ВИСХОМ, развитие отечественного сельхозмашиностроения, ликвидация НИИ, закрытие заводов отрасли, задача увеличения производства продовольствия, уникальный аграрный потенциал России, масштабное возрождение отечественного сельхозмашиностроения.

It is reported on the history of the development of the domestic agricultural machinery industry. It is noted that the beginning of the modern development of the industry was laid down by the Decree of the Council of People's Commissars of the USSR of April 1, 1921, in which it is recognized as «... a matter of extreme national importance». It sets out a set of measures to create the industry as the basis for the development of the country's agriculture. The head institute All-Union scientific research Institute of agricultural engineering (VISKhOM), profile research institution, leading specialized design bureaus, student design bureaus and various factories are being created in different regions of the country. Being the leading complex center for scientific research and practical development of new and promising agricultural technology, including the training of scientific personnel, the Institute VISKhOM played a major role in the development of domestic agricultural machinery and integrated mechanization of the country's agriculture in the 20s and 30s, in its restoration to Postwar years of the last century. Achievement in 1947 of pre-war production of agricultural machinery. It is noted that the Institute VISKhOM developed and produced in the industry a large number of new machines; many monographs and collections of articles and other scientific papers have been published, scientific and technical reports on the results of their implementation of R&D have been compiled. Scientific and technical assistance was provided to design bureaus and factories of the industry in the creation and production of new equipment, according to methodological and normative documentation. Significant is its contribution to the development and implementation of systems of machinery and technology in the country's agriculture. The UN General Assembly recognized the need to increase the world's food production. Russia has a unique agrarian potential and can provide itself with quality, renewable products and its supply to the world market. It is noted that a number of problems of the domestic agro-industrial complex remain unresolved, for example, its insufficient support by the state, the liquidation of scientific research institutes of the industry, including VISKhOM and a number of factories. There is a need for a large-scale revival of the domestic agricultural machinery industry as an effective scientific and production system for the creation and production of modern machinery of high quality and reliability for our agriculture with an extensive set of crops and with various technologies. The future of Russia's agriculture is the use of modern machine technologies as the basis for the country's food security and the competitiveness of Russian food in the domestic and world markets.

**Keywords:** agricultural machinery, the Decree of the Council of People's Commissars of the USSR of April 1, 1921, the institute VISKhOM, development of domestic agricultural machinery, liquidation of scientific research institutes, closure of factories in the industry, task of increasing food production, unique agrarian potential of Russia, massive revival of domestic agricultural machinery.

## Введение

Производство сельскохозяйственных машин и орудий – одна из старейших отраслей отечественного машиностроения. Мастерские по изготовлению сельскохозяйственного инвентаря появились в России еще до отмены крепостного права. В 1913 г. было изготовлено около 10 млн различных сельскохозяйственных машин и орудий. Выпускались конные плуги, разбросные сеялки, жатки, косилки, ручные и конные молотилки, веялки, сортировки и другие машины и орудия. После Первой Мировой войны выпуск сельхозтехники снизился до 8 % от объема ее производства 1913 г.

Начало современного сельхозмашиностроения России было положено Декретом Совета Народных Комиссаров СССР от 1 апреля 1921 г. «О сельскохозяйственном машиностроении», в котором был изложен комплекс конкретных мер по организации расширенного производства отечественной техники как основы развития сельского хозяйства [1].

Декретом поручалось определить типы сельскохозяйственных машин, подлежащих изготовлению, а также принять меры по подготовке кадров для отечественного сельхозмашиностроения. Принятый в один из тяжелейших периодов для нашей страны Декрет сыграл решающую роль в развитии отечественного сельхозмашиностроения и может являться наглядным примером принципиального и оперативного решения важнейшего государственного вопроса.

В 1928 г. было принято Постановление СТ и О СНК СССР (Совет Труда и Оборона Совета Народных Комиссаров) об организации Всесоюзного научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения – ВИСХОМ. На него возлагались разработка теории сельскохозяйственных машин, изучение зарубежного опыта, унификация конструкций сельхозмашин и их элементов, оказание технической помощи заводам в освоении новых машин в производстве. Впоследствии к этим задачам добавились создание новейшей сельскохозяйственной техники, координация, научно – техническое и методическое руководство конструкторскими разработками, выполняемыми в отрасли и работы по стандартизации сельхозмашин и их рабочих органов.

В 1930–1932 гг. были открыты филиалы института в Ростове-на-Дону, Омске, Люберцах, Рязани, Саратове, Ташкенте.

В годы ВОВ, понимая важность сохранения научного потенциала ВИСХОМ, руководством страны принимается решение по эвакуации его специалистов в г. Ташкент.

В 1943 г., после возвращения специалистов института из эвакуации, были начаты работы по восстановлению техдокументации на сельхозмашины для их выпуска на заводах отрасли. В 1944 г. была возобновлена работа аспирантуры института, созданной в 1933 г.

В 1947 г. выпуск сельскохозяйственных машин в стране достиг довоенного уровня.

Институт ВИСХОМ активно работал в сотрудничестве с заводами отрасли, со многими отечественными организациями и институтами Минсельхоза, непосредственно с сельскохозяйственными предприятиями, организациями различных ведомств, в том числе ВПК, со многими зарубежными фирмами. Это обеспечивало создание машин высокого, подчас опережающего технического уровня, например, для механизации картофелеводства (сажалки с опускающимися бункерами, прямоточный двухъярусный комбайн, сортировальный пункт и др.). Действующий в тот период порядок оформления авторских свидетельств на изобретения не закреплял приоритет нашей страны.

За период деятельности института его специалистами выполнялись комплексные НИОКР, по которым разработано около 1200 новых сельскохозяйственных машин, опубликовано более 500 монографий и 1300 сборников статей и других научных трудов, составлено более 7500 научно-технических отчетов по выполненным НИОКР и результатам их внедрения, оказывалась систематическая научно-техническая помощь КБ и заводам отрасли по созданию, освоению и производству новой сельскохозяйственной техники с использованием методической и нормативной документации.

Ряд работ института ВИСХОМ и с его участием по созданию новой техники были отмечены Государственными премиями СССР и Российской Федерации, более 1100 его сотрудников награждены медалями ВДНХ (ВВЦ) и около 200 – медалями и дипломами международных специализированных выставок, в том числе зарубежных. В 1971 году за успехи, достигнутые в развитии отечественного машиностроения. Институт награжден орденом Трудового Красного Знамени. Многие сотрудники

института стали лауреатами Государственных премий, награждены орденами и медалями СССР и Российской Федерации. Координирующая роль ВИСХОМ позволила создать в стране эффективно функционирующую систему научно-исследовательских и конструкторских организаций, включающая Головные КБ и СКБ по группам сельскохозяйственных культур. В составе института ВИСХОМ успешно работали 5 зональных опытных станций, один филиал и специализированное отделение по проблемам защищенного грунта.

Основными направлениями работ института ВИСХОМ в разные годы его активной научно-производственной деятельности были:

- участие в комплектовании и контроле за реализацией Системы машин, включая оптимизацию потребности в основных технических средствах, разработка которой велась при участии многих технологических НИИ при координации ВИМа;
- организация и управление целевыми и комплексными отраслевыми НИОКР;
- комплексная оценка и координация деятельности НИР и ОКР отрасли;
- прогнозирование тенденций в сельхозмашиностроении и смежных отраслях, определение перспективных направлений исследований;
- экономические исследования, включающие создание нормативной документации, вопросы ценообразования и эффективности машиноиспользования, в том числе комплексов и наборов машин;
- работы по стандартизации, унификации с/х машин, комплектации базы данных для поэлементного компьютерного проектирования новых машин;
- разработка средств для обеспечения условий труда и безопасности (остекление, вентиляция, кондиционирование и отопление кабин мобильных средств и рабочих помещений), эргономики и технической эстетики;
- создание средств автоматического вождения МТА в системе точного земледелия; компьютеризация управления и мониторинга навигационных систем;
- разработка средств измерения и контроля, включая метрологию и специзмерения;
- обеспечение научно-технической информации, оценки технического уровня

машин, развитие и укрепление коммерческих и внешнеэкономических связей, оперативной полиграфии, подготовки информационных изданий и НТД, архива конструкторской документации; сбор, обработка, анализ и хранение печатной научной литературы; архивирование научно-технической документации (отчеты, чертежи, кальки и пр.);

- участие в разработке мобильных энергетических средств, вопросы агрегатирования с/х машин и исследования механизмов приводов (механический, электрический, гидравлический и др. приводы на базе автоматизированных электрогидро систем).

Являясь ведущим комплексным центром научных исследований и практических разработок новой и перспективной техники для сельского хозяйства, включая подготовку научных кадров, институт ВИСХОМ сыграл основную роль в развитии современного отечественного сельхозмашиностроения и комплексной механизации сельского хозяйства страны в 20–30-х гг., в его восстановлении в послевоенные годы прошлого века, в том числе в освоении целины и во время бурного развития сельскохозяйственного машиностроения в союзных республиках вплоть до перестройки [1].

В диссертационных советах института ВИСХОМ было защищено более 430 диссертаций, из них – 44 докторских. За время активной научно-производственной деятельности института была собрана уникальная отраслевая научно-техническая библиотека, насчитывавшая более 30 тыс. экземпляров книг, журналов и других изданий, которая в настоящее время, к сожалению, утрачена.

В ноябре 1988 г. институт ВИСХОМ посетили первые лица нашего государства, ознакомившись с его научно-производственной деятельностью и с разработанными к тому времени новинками сельхозтехники, включая оригинальное стендовое оборудование для ускоренных испытаний зерноуборочных комбайнов и других типов сельскохозяйственной техники, уникальный почвенный канал. Были намечены приоритетные направления развития отрасли в перестроечный период, предусматривающие дальнейшее приближение науки к производству, укреплению ее экспериментальной базы, оснащению приборами и научным оборудованием [2].

## Цель исследования

Целью исследования является анализ ситуации, сложившейся в области сельхозмашиностроения России.

## Методы исследований

Номенклатура применяемых технических средств для действующих и перспективных технологий современного сельского хозяйства, используемой и планируемой энергетики, типов хозяйств-заказчиков определялась периодическими разработками Систем машин (далее – СМ) для его комплексной механизации, позволяющими планировать и организовывать создание новых машин, модернизацию и снятие с производства устаревшей техники, обновление производства техники на перспективу и другие работы по механизации агрокомплекса страны.

Первая Система машин была предложена ВИСХОМ еще в 1940 г., а наиболее действенная на практике и последняя по сроку создания была разработана совместно с ВИМом в 1986 г. при участии более 40 институтов и организаций Минсельхоза СССР и НИИ восьми различных министерств страны.

В доперестроечный период после утверждения новой СМ с целью своевременного исполнения работ, заложенных в ней по разработке и освоению новой техники, Минсельхозмашем, как правило, выпускались приказы министра по ее реализации с конкретным закреплением каждого технического средства за конструкторскими организациями и заводами отрасли с соответствующим финансированием. В состав Минсельхозмаша, по данным на 1984 г., входило более 200 различных организаций, в том числе около 100 серийных и опытных заводов, 60 ГСКБ, СКБ и СКТБ различного профиля и их филиалов, 24 научно-исследовательских института и их филиалы, 10 зональных станций и лабораторий и ряд других организаций.

Объем выпуска новой продукции определялся на основании достаточно трудоемкого расчета потребности в нем сельского хозяйства, проводимого систематически институ-

том ВИСХОМ совместно с профильными институтами Минсельхоза.

В конце 2011 г. Минпромторгом РФ была принята Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России до 2020 г. [3], наметившая основные задачи развития отрасли. В ней было оценено состояние с механизацией сельского хозяйства страны и показаны имеющиеся общеэкономические и отраслевые проблемы с оснащением хозяйств техникой.

Следует отметить, что развитие отрасли сдерживается значительным диспаритетом цен на продукцию сельского хозяйства и ценами на ГСМ, технику, сервисное обслуживание. Такое положение не позволяет производителям сельхозтоваров инвестировать средства в развитие производства, в том числе и на организацию переработки сырья на месте его производства.

В 2012 г. Россия вступила в ВТО. Еще до этого события большинство оппонентов сходилось во мнении, что этим решением из всех отраслей народного хозяйства страны ее сельскому хозяйству будет нанесен наибольший урон.

Известно, что развитие сельского хозяйства требует серьезной государственной поддержки. В первую очередь это относится к поддержке сельскохозяйственных производителей, что показано в табл. 1 [3].

Генеральная Ассамблея ООН при рассмотрении перспектив развития мирового сельского хозяйства признала необходимость увеличения к 2050 г. на 70 % производства продовольствия на основе инновационных технологий с учетом местных условий и опыта [4].

Россия обладает уникальным аграрным потенциалом. При 2 % населения земного шара она располагает 9 % мировой пашни, 55 % черноземных почв, 20 % запасов пресной воды и является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции в мире. Наша страна, несмотря на сравнительно суровые климатические условия и наличие зон рискованного земледелия, может обеспечить себя качественной и конкурентоспособной продукцией с поставкой ее на мировой рынок.

Таблица 1

Государственная поддержка сельскохозяйственных производителей (\$ на 1 га)

Страны					
Швейцария	ЕС	Япония	Китай	США	Россия
15000,99	802,56	12 800	1185	145,45	44,59



Вместе с тем, при достижении определенных успехов в развитии отечественного АПК, например в увеличении производства зерна и возобновлении его поставок на экспорт, многие проблемы остаются нерешенными. Так, его поддержка государством явно недостаточна, как видно из табл. 1.

Будущее сельского хозяйства России – в преимущественном использовании современных машинных технологий в хозяйствах различных форм и укладов как основы обеспечения продовольственной безопасности страны и средства достижения конкурентоспособности российского продовольствия на внутреннем и мировом рынках.

Одним из важнейших и решающих условий интенсивного развития АПК страны является масштабное возрождение отечественного сельхозмашиностроения как крупной научно-производственной системы по созданию и достаточному производству широкой номенклатуры современной отечественной сельскохозяйственной техники высокого качества и надежности. Оно необходимо для наших сельхозпроизводителей с большим разнообразием условий производства, набора культур и различий в технологиях их выращивания, в том числе в хозяйствах малых форм.

В связи с резким удорожанием производственно-технических ресурсов, ухудшением финансового состояния сельскохозяйственных предприятий и значительным сокращением государственной поддержки сельхозпроизводителей наши хозяйства не могут своевременно и в необходимых объемах обновлять и пополнять машинно-тракторный парк, что приводит к его сокращению и старению. Поэтому за последние годы многие заводы отрасли прекратили свою деятельность из-за отсутствия средств, например, на покупку техники, у отечественных производителей картофеля, и обеспеченность ею отечественного сельского хозяйства существенно сокращается, что видно из табл. 2.

Министр сельского хозяйства РФ Ткачев А.Н. на заседании секции партии «Единая Россия» 14 марта с.г. заявил, что «...темпы выбытия сельхозтехники все еще в 1,5–2 раза выше, чем темпы приобретения новой техники».

Прослеживается тенденция деградации отечественной отрасли сельскохозяйственного машиностроения, в том числе и отраслевой науки.

В 1995 г. был закрыт институт НИИ тракторосельхозмаш, занимавшийся вопросами технологического оснащения и развития заводов отрасли.

В 2002 г. прекратил существование институт ВНИИКОМЖ, созданный в 1974 г. на базе отделов механизации процессов в животноводстве института ВИСХОМ.

В 2010 г. был закрыт головной институт по автотракторной технике НАТИ, созданный в 1930 г.

В 2016 г. был ликвидирован и снесен для строительства жилья Головной институт ВИСХОМ имени академика В.П. Горячкина, являвшийся флагманом отечественного сельхозмашиностроения около 90 лет.

Названные выше перемены в нашей стране привели в итоге к снижению технического уровня техники для сельского хозяйства, что видно из данных табл. 3, и существенно замедлили темпы ее создания.

### Результаты исследований

Современный этап развития мирового сельского хозяйства выдвигает повышенные требования к составу технических средств, к их характеристикам и обуславливает серьезные изменения в технологиях производства сельскохозяйственной продукции. Наблюдается устойчивая мировая тенденция перехода к производству основных продуктов сельского хозяйства по машинным технологиям с использованием высокопроизводительной техники и схем логистики с минимизацией затрат ручно-

Таблица 2

Обеспеченность сельскохозяйственных организаций тракторами и комбайнами в 2004–2010 гг. [3]

Показатели		2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Тракторов на 1000 га пашни, шт.		6	6	5	5	5	4	4
Комбайнов на 1000 га культур, шт.	зерно	4	4	4	3	3	3	3
	кукуруза	5	5	3	2	1	1	1
	картофель	33	32	28	25	23	18	16

Таблица 3

## Сравнительные основные технические показатели российской и импортной сельскохозяйственной техники [3]

Вид техники	Показатель	Российская техника	Импортная техника
Тракторы	Двигатель, л.с.	30-420	80-670
	Модели, шт	около 30	681 (Европа)
	Экологический стандарт	Евро 2-3	Евро 3-4
	Агрегатируемость	любая прицепная техника РФ и СНГ	зарубежная техника, виды российской
	Стоимость владения, оценка	60-70 %	100 %
Комбайны	Мощность двигателя, л.с.	<500	<820
	Количество моделей, шт.	23	147
	Классы по производительности	3, 4, 5, 6, 7	3, 4, 5, 6, 7
	МСУ	классические, роторные, классические с роторным сепаратором	классические, роторные, классические с роторным сепаратором, гибридные
	Емкость бункера, м <sup>3</sup>	<10,5	<12
	Ширина жатки, м	<9	<12, бывают 18
	Рабочая скорость, км/ч	<16	<18
	Качество обработки	100 %	100 %
Сеялки точного высева	Ширина захвата, м	<6 (11)	<48 (36)
	Бункер, м <sup>3</sup>	<3	<8
	Рабочая скорость, км/ч	<12	<15
Посевные комплексы	Ширина захвата, м	<16	<18
	Емкость бункера, м <sup>3</sup>	<9	<15
	Рабочая скорость, км/ч	<15	<18
Надежность работы (наработка на отказ)		40-70 %	100 %
Комплектующие		Многие комплектующие не производятся, в т.ч. электроника, современные трансмиссии, шины, системы GPS и мосты	Производятся практически все комплектующие

го труда. В ведущих странах мира названный переход в значительной степени завершается.

Сегодня для конструирования современных машин необходимо владение сложными современными методами и навыками, а престиж технических профессий и специальностей упал. В системе образования необходимо существенно улучшить работу по повышению качественного уровня инженерных кадров и организовать в ведущих технических институтах страны подготовку современных исследователей, разработчиков и производителей сельскохозяйственной техники.

Проблема эта касается не только машиностроителей. В системе АПК необходимо прове-

сти совершенствование организационных форм использования у потребителей новой высокопроизводительной и усложняющейся сельскохозяйственной техники с учетом особенностей малых форм товаропроизводителей. Необходимо также инженерные кадры для обеспечения эффективной эксплуатации современной техники в хозяйствах разных форм. Их следует готовить в институтах Минсельхоза РФ.

В условиях современных производственных отношений, возникших в нашем обществе при его перестройке, весьма длительным и слабо организованным остается процесс промышленного освоения и защиты отечественных патентов и изобретений. Значительная их часть

остается на бумаге или нелегально реализуется за рубежом. Осуществляемое некоторыми нашими предприятиями копирование новых образцов зарубежных машин, демонстрируемых на выставках, не решает эту проблему. Должно быть найдено ее кардинальное решение.

Необходимо придать активный импульс развитию сети оставшихся, но сегодня практически заброшенных машиноиспытательных станций. Они в свое время сыграли одну из основных ролей в продвижении новых машинных технологий и новой техники в сельскохозяйственное производство страны.

### Выводы

Развитию отечественного сельскохозяйственного машиностроения как системе создания и производства техники для села вновь, как в 1921 г., необходимо придать статус «чрезвычайной государственной важности» и неукоснительно претворять его в жизнь.

Отечественное сельскохозяйственное машиностроение должно в кратчайшие сроки стать способным эффективно создавать, производить и продвигать современную, качественную и надежную сельскохозяйственную технику на внутреннем и внешнем рынках, оперативно обслуживать ее в эксплуатации, привлекать для этого необходимые ресурсы и управлять ими и тем самым обеспечить успешное решение задач по дальнейшему развитию российского агрокомплекса, в том числе поставленных Президентом РФ Путиным В.В. в Послании Федеральному собранию от 3 декабря 2016 г. [5].

### Литература

1. Колчин Н.Н. Возрождение отечественного сельхозмашиностроения – неосложная и важная государственная задача // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 10. С. 3–7.
2. Во время посещения выставки в ВИСХОМ // Тракторы и сельхозмашины. 1988. № 11. С. 4–7.
3. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России до 2020 года. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 89 с.
4. United Nations. General Assembly. Advanced Unedited Copy // Sixty-six session Item 20(a) of the professional agenda. 15 August 2011. A. 66. 100. s. 22.
5. Путин В.В. Послание Президента РФ Федеральному собранию от 3 декабря 2016 г.

### References

1. Kolchin N.N. Revival of domestic agricultural machinery construction is an urgent and important state task. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. No 10, pp. 3–7 (in Russ.).
2. While visiting the exhibition in VISKhOM. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1988. No 11, pp. 4–7 (in Russ.).
3. *Strategiya razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya Rossii do 2020 goda* [Strategy for the development of agricultural engineering in Russia until 2020]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh» Publ., 2011. 89 p.
4. United Nations. General Assembly. Advanced Unedited Copy. Sixty-six session Item 20(a) of the professional agenda. 15 August 2011. A. 66. 100. p. 22.
5. Putin V.V. *Poslanie Prezidenta RF Federal'nomu sobraniyu ot 3 dekabrya 2016 g.* [The Address of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly of December 3, 2016.]

