

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННЫХ ТРАКТОРНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ШИН КАТЕГОРИЙ IF И VF**

### **1. Введение**

Современные инновационные технологии производства тракторных шин позволяют обеспечить повышение технико-экономических показателей колесных тракторов по сравнению с шинами, произведенными по традиционной технологии. Это достигается за счет высокой эластичности шин, увеличенной площади пятна контакта с опорным основанием и большой грузоподъемности. Такие шины имеют более низкое давление на почву, что способствует повышению урожайности культур, снижению стоимости механической обработки почвы и защите от эрозии.

В связи с этим, представляет интерес анализ перспективности применения инновационных шин на сельскохозяйственных тракторах, в том числе и отечественного производства, а также прогнозирование технико-экономических показателей тракторов с такими шинами. Характеристики перспективных инновационных шин могут использоваться в математических моделях, описывающих процессы взаимодействия пневматической шины с деформируемой почвой, при решении задач теории трактора.

### **2. Постановка задачи и основные уравнения**

Около 10 лет назад на мировом рынке тракторных сельскохозяйственных шин появилась технология Michelin Ultraflex, которая одновременно решает две задачи: повышение производительности и защита почвы. Группа Michelin предлагает линейку шин с технологией Michelin Ultraflex, включающую шины категорий IF (Improved Flexion - шины повышенной эластичности) и VF (Very High Flexion - шины очень высокой эластичности). Инновационная технология Michelin Ultraflex позволяет повысить динамическую эластичность шин и обеспечивает максимально возможную управляемость на дороге при скорости до 65 км/ч [1].

В 2006 году шины категорий IF и VF были официально утверждены Европейской технической организацией по шинам и ободьям (ETRTO – European Tyre and Rim Technical Organization) [2]. С одной стороны, особенностью шин категории IF и VF является большая грузоподъемность соответственно на 20% и 40% по сравнению с обычными радиальными шинами при одинаковом внутришинном давлении [2]. С другой стороны, при одинаковой номинальной нагрузке шины IF и VF могут эксплуатироваться при более низком давлении. Однако у шин IF и VF не повышается грузоподъемность при снижении скоростного режима эксплуатации, хотя при изменении скорости они не требуют корректировки давления при работе с постоянной радиальной нагрузкой [3].

Компания Firestone производит тракторные шины с технологией Advanced Deflection Design (AD2) [4], которая по сути аналогична технологии Michelin Ultraflex и дает возможность производить шины категории IF.

© А.Ю. Ребров, 2015

Компания Good Year также производит шины IF и VF и имеет инновационную технологию Low Sidewall (LSW) [5]. LSW шины имеют меньшее соотношение высоты профиля к ширине и, вследствие этого, меньшую боковую стенку, чем в обычных шинах. Чем меньше высота боковины, тем лучше гасятся колебания остова, особенно при движении на высоких скоростях, сохраняя при этом удобство и комфорт оператора.

При одинаковом наружном диаметре шины LSW по сравнению с обычными имеют больший посадочный диаметр и меньшую высоту боковины, они более низкопрофильные. Good Year является единственной компанией, которая при производстве сельскохозяйственных шин объединила преимущества IF и LSW технологий. Это обеспечивает лучшую устойчивость и управляемость благодаря LSW технологии, а также работу с более низким давлением и увеличенную грузоподъемность шин на поле благодаря IF технологии.

Новый каркас шин, разработанный компанией Trelleborg с использованием технологии Blue Tire [6], обеспечивает высокую производительность сельскохозяйственных операций из-за более широкого пятна контакта и низкого уплотнения почвы по сравнению с обычными радиальными шинами. Шины IF и VF, как и обычные радиальные, произведенные под брендом Trelleborg, отличаются высокими значениями контактной площади пятна контакта [7] с жестким основанием.

Инновацией компании Mitas является шина Super Flexion Tire (SFT), которая при низком давлении по своим характеристикам превосходит некоторые конкурирующие IF шины [8]. Компания Mitas также производит до десяти типоразмеров VF шин.

Bridgestone, дочерней компанией которой является Firestone, в производстве тракторных шин использует разработанную инновационную технологию Narrow Rim Option (NRO) [9], которая позволяет монтировать шины IF и VF на более узкие ободья, чем рекомендуемые ETRTO. Технология NRO связана с особенностями напряженно-деформированного состояния боковин и плечевой области шин. IF и VF шины с NRO технологией маркируются соответствующим образом.

В целом, по сравнению с обычными радиальными шинами, шины IF и VF обладают рядом преимуществ. Среди них: большая площадь пятна контакта (до +24%); малое давление на почву и низкое минимальное вниришинное давление (0,04-0,06 МПа); меньшая глубина колеи (до -55%), а также меньшее сопротивление качению (до -20%); выше касательная сила тяги при одинаковом буксовании (до +7%) [1].

Целью данной работы является анализ технических характеристик инновационных шин категорий IF и VF, а также адаптация известной математической модели тракторных шин В. Л. Бидермана [10, 11], построенной на универсальной нагрузочной характеристике шин, для моделирования IF и VF шин и их взаимодействия с почвой. Это позволит использовать математическую модель для анализа перспективности применения на тракторах, в том числе и отечественного производства, инновационных IF и VF шин при эксплуатации в почвенных условиях Украины.

### **3. Алгоритм расчета**

Для анализа технических данных шин с тракторным рисунком протектора (R-1, R-1W, R-2), которые в соответствии с международной классификацией предназначены для использования на ведущих колесах тракторов, были выбраны более 500 шин ряда

известных производителей. Среди них Good Year, Michelin, Mitas, Firestone, Trelleborg, Tyrex, Voltyre, Белшина, Rosava, Днепрошина.

Анализ показывает, что отношение радиальной деформации или прогиба шины к высоте профиля (относительная радиальная деформация) при работе с номинальной радиальной нагрузкой и соответствующем ей давлении для шин, выполненных по традиционной технологии, и IF, VF шин отличается. Относительная радиальная деформация определяется соотношением:

$$\Delta_f = \frac{f_{\text{сш}}}{H} \cdot 100\%,$$

где  $f_{\text{сш}}$  – статический прогиб шины;

$H$  – высота профиля шины

Так, высоко эластичные VF шины имеют относительную деформацию  $\Delta_f$  в пределах 27-31%, шины IF – 21-27%, шины традиционной технологии – 12-26%. Следует отметить, что диагональные шины более жесткие и имеют меньшую относительную радиальную деформацию (12-20%) по сравнению с радиальными (17-24%). Особое место занимают радиальные узкие высокопрофильные шины для работы в междурядьях. Для некоторых из них относительная радиальная деформация составляет 9-15%.

Также определенным интересом представляет минимально возможное давление, создаваемое шиной на жесткое основание, при работе с номинальной радиальной нагрузкой. Под номинальной нагрузкой понимается допускаемая нагрузка при соответствующем давлении. Несомненно, минимально возможное давление шины на жесткое основание будет при минимально допустимом давлении и максимально допустимой нагрузке при минимально допустимом давлении. В ходе анализа технических данных по шинам установлено, что шины VF создают минимально возможное давление на основание в пределах 66-132 кПа (у лучших образцов 66-72 кПа), шины IF – 86-115 кПа (у лучших образцов 86-91 кПа). В тоже время современные радиальные шины создают минимально возможное давление на основание в пределах 67-118 кПа (у лучших образцов 67-81 кПа). При максимальной радиальной нагрузке и соответствующем ей давлении шины VF создают давление на основание более 100 кПа, шины IF – более 120 кПа, радиальные шины – более 137 кПа.

Таким образом, шины категорий IF и VF имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными радиальными шинами, особенно при одинаковых радиальных нагрузках, поэтому их применение на современных тракторах представляется перспективным.

Для анализа эффективности переоборудования или комплектации существующих и вновь создаваемых тракторов шинами категорий IF и VF необходимо произвести предварительные теоретические тяговые расчеты. Для моделирования взаимодействия шин с жестким опорным основанием наиболее удобна и достоверна модель тракторных шин В. Л. Бидермана, приведенная в работах [10, 11].

Однако, эта математическая модель хорошо описывает шину при ее относительной радиальной деформации 18-22%, в то время как шины IF и VF имеют существенно большие прогибы вследствие своей высокой эластичности. Критерием сходимости результатов моделирования и реальных данных является равенство расчетной и действительной контурной площади пятна контакта шины с жестким основанием.

Идентифицировать шины IF и VF для математической модели [10, 11] можно следующим образом. Прогиб тракторной шины определяется зависимостью:

$$f_{ш} = \frac{c_2 \cdot G_k}{2 \cdot (p_{ш} + p_0)} + \sqrt{\left( \frac{c_2 \cdot G_k}{2 \cdot (p_{ш} + p_0)} \right)^2 + c_1 \cdot G_k}, \quad (1)$$

где  $G_k$  – нагрузка на колесо, кН;

$p_0, c_1, c_2$  – постоянные для данной шины коэффициенты, кПа, м<sup>2</sup>/кН, 1/м;

$p_{ш}$  – внутришинное давление, кПа.

Коэффициенты  $p_0, c_1, c_2$  зависят от ряда параметров шины. Это наружный диаметр колеса ( $D$ ), ширина профиля шины ( $b$ ), статический радиус ( $r_c$ ), минимально допустимое давление в шине ( $p_{ш.min}$ ), максимально допустимая нагрузка при минимально допустимом давлении ( $Q_{pmin}$ ), максимально допустимое давление в шине ( $p_{ш.max}$ ), максимально допустимая нагрузка при максимально допустимом давлении ( $Q_{pmax}$ ), посадочный диаметр шины ( $D_{п}$ ) и норма слойности ( $n_c$ ).

Учитывая, что показатель нормы слойности в технических данных для радиальных шин не указывается, адаптировать модель тракторных шин В. Л. Бидермана можно используя показатель контурной площади пятна контакта. Однако, для шин IF и VF идентифицировать норму слойности таким образом, чтобы расчетная и действительная контурные площади пятна контакта шины с жестким основанием совпадали при нагружении шины по линии, соединяющей точки ( $p_{ш.min}; Q_{pmin}$ ) и ( $p_{ш.max}; Q_{pmax}$ ), не удастся. Погрешность расчетов может достигать 24%.

Для решения этой проблемы рассмотрим моделирование пятна контакта шины с опорным основанием, которое представляет собой эллипс, контурная площадь которого равна [10, 11]:

$$F_k = \frac{\pi}{4} \cdot a_k \cdot b_k, \quad (2)$$

где  $a_k, b_k$  – большая и малая полуоси эллипса, либо длина и ширина пятна контакта.

Статистический анализ результатов статических испытаний шин показал, что ширина пятна контакта и его длина могут быть определены по зависимостям [10, 11]:

$$a_k = c_3 \cdot \sqrt{D \cdot f_{ш} - f_{ш}^2}; \quad (3)$$

$$b_k = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot R_{пр} \cdot f_{ш} - f_{ш}^2}. \quad (4)$$

где  $c_3$  – коэффициент, зависящий от размеров и нормы слойности шины;

$R_{пр}$  – приведенный радиус поперечного сечения шины.

$$c_3 = \frac{20,5}{11,9 + \left| \frac{D}{b} - \frac{|n_c - 9|}{2} - 3 \right|}. \quad (5)$$

$$R_{np} = \frac{b + H}{2,5}, \quad (6)$$

где  $H$  – высота профиля шины.

$$H = \frac{D - D_n \cdot 0,0254}{2}, \quad (7)$$

где  $D_n$  – номинальный посадочный диаметр обода в дюймах.

Первоначально в расчетах норма слойности для модели выбирается таким образом, чтобы исключить комплексные значения при расчетах по зависимости (1). После определения контурной площади пятна контакта шины с жестким основанием в соответствии с (1-7) определяется коэффициент:

$$k_F = \frac{F_k}{F_n}, \quad (8)$$

где  $F_k$  – расчетная контурная площадь пятна контакта шины (2);

$F_n$  – номинальная контурная площадь пятна контакта шины, по данным испытаний производителя.

Затем корректируется зависимости (5) и (6) следующим образом:

$$c_3 = \frac{20,5}{\sqrt{k_F} \cdot \left| 11,9 + \frac{D}{b} - \frac{|n_c - 9|}{2} - 3 \right|}. \quad (9)$$

$$R_{np} = \frac{b + H}{2,5 \cdot k_F}, \quad (10)$$

Далее после замены выражений (5) и (6) на (9) и (10) численным методом определяется норма слойности  $n_c$  из уравнения:

$$\frac{F_k}{10000} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{20,5}{\sqrt{k_F} \cdot \left| \frac{D}{b} - \frac{|n_c - 9|}{2} - 3 \right|} \cdot \sqrt{D \cdot f_{cш} - f_{cш}^2} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{b + H}{2,5 \cdot k_F} \cdot f_{cш} - f_{cш}^2}, \quad (11)$$

где  $f_{cш}$  – статический прогиб шины.

#### **4. Анализ результатов исследования**

В качестве примера для идентификации были выбраны тракторные шины типо-

размера 710/70 R42, изготовленные по традиционной технологии, а также шины IF и VF нескольких мировых производителей (см. табл.).

В таблице приведены значения номинальной контурной площади пятна контакта  $F_n$ , декларируемые производителями, а также идентифицированные значения слойности  $n_c$  и коэффициента  $k_F$ , полученные из условия  $F_k = F_n$ .

Таблица – Технические данные шин ведущих мировых производителей

Размер	$D$ , м	$b$ , м	$r_c$ , м	$Q_{pmax}$ , кг	$p_{ш.max}$ , МПа	$Q_{pmin}$ , кг	$p_{ш.min}$ , МПа	$F_n$ , см <sup>2</sup>	$n_c$	$k_F$	Бренд
710/70 R42	2,043	0,716	0,914	6955	0,24	3905	0,06	3690	10,7	0,94	Good Year
710/70 R42	2,050	0,732	0,920	6960	0,24	2680	0,04	3758	6,66	0,89	Michelin
710/70 R42	2,060	0,717	0,910	7480	0,24	3520	0,06	3523	7,10	1,08	Trelleborg
710/70 R42	2,070	0,731	0,935	7475	0,24	4080	0,06	3400	9,89	1,00	Mitas
710/70 R42	2,075	0,730	0,938	7475	0,24	3500	0,06	3419	7,20	0,96	Firestone
IF710/70 R42	2,062	0,742	0,919	7750	0,24	4250	0,08	3619	7,30	1,00	Michelin
IF710/70 R42	2,060	0,735	0,920	7760	0,24	4190	0,08	4786	7,73	0,77	Trelleborg
IF710/70 R42	2,075	0,730	0,921	7750	0,24	3475	0,06	3806	6,67	0,97	Firestone
VF710/70 R42	2,060	0,715	0,920	7750	0,16	5030	0,08	3750	5,69	0,90	Mitas

Норма слойности является условным показателем и может принимать любые (не обязательно целочисленные) значения. Значения номинальной контурной площади пятна контакта для одного и того же типоразмера шины с весьма близкими размерами может отличаться на величину до 40% (см. табл.). Построенные по результатам идентификации контурные площади пятна контакта нескольких шин из табл. при соблюдении масштаба относительно размеров шины приведены на рис.

Следует отметить, что не всегда контурная площадь пятна контакта шин IF и VF больше, чем у обычных радиальных шин того же типоразмера. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо обращаться к данным производителя и проводить идентификацию. Идентифицированные значения коэффициента  $k_F$  показывают, что до корректирования зависимостей (5) и (6) расчетная контурная площадь пятна контакта может отличаться от действительной в большую и меньшую стороны.

Таким образом, предложенный метод идентификации тракторных сельскохозяйственных шин категорий IF и VF с использованием известной математической модели В.Л. Бидермана [10, 11], построенной на универсальной нагрузочной характеристике шин, позволяет определить коэффициенты модели из условия равенства расчетной и действительной контурной площади пятна контакта шины с жестким опорным основанием  $F_k = F_n$ . Для расчета взаимодействия ходовых систем тракторов с деформируемым опорным основанием при использовании предложенного метода и с учетом радиальной нагрузки и давления в шинах IF и VF можно воспользоваться рекомендациями [12].

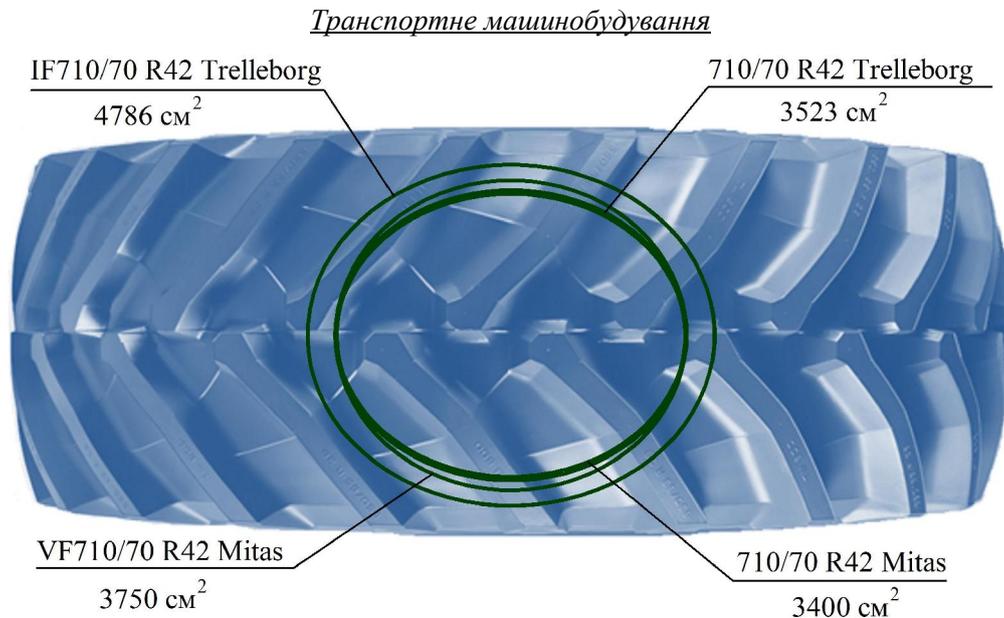


Рисунок – Показатели пятна контакта тракторной шины типоразмера 710/70 R42

### **Заключение**

Математическая модель тракторной шины, предложенная Л. В. Бидерманом [10,11], наиболее полно отражает все показатели взаимодействия шины с жестким основанием с учетом ее характеристик, радиальной нагрузки и внутришинного давления. Шины категорий IF и VF обладают высокой эластичностью. Их относительная радиальная деформация ( $\Delta_f$ ) при номинальной нагрузке составляет 27-31% – для VF шин и 21-27% – для IF шин. У радиальных шин обычной конструкции относительная радиальная деформация находится в пределах 12-26%. Поэтому для проверки адекватности математической модели В.Л. Бидермана необходимо производить идентификацию шин IF и VF, а также некоторых современных радиальных шин с использованием предложенного метода.

Предложенный метод идентификации радиальных шин, выполненных по традиционной технологии, а также шин категорий IF и VF, обладает высокой точностью. Разность между расчетной и действительной контурной площадью пятна контакта с жестким основанием при номинальной нагрузке составляет  $\pm 2$  см<sup>2</sup>.

**Литература** 1. [www.michelinag.com](http://www.michelinag.com). 2. UN/ECE Regulation No.106. 3. Michelin Agriculture and Compact Line Data Book. - 2013. ([www.michelinag.com](http://www.michelinag.com)). 4. Data book for Firestone brand AG tires. - 2011. ([www.firestoneag.com](http://www.firestoneag.com)). 5. Experience the Good Year advantage. - 2014. ([www.titan-intl.com](http://www.titan-intl.com)). 6. The Power beneath Blue Power ([www.trelleborg.com/wheelsystems\\_us](http://www.trelleborg.com/wheelsystems_us)). 7. ГОСТ 17697-72 Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. 8. Agricultural tires. Technical data book 2nd edition. Mitas. - 2014. ([www.mitasag.com](http://www.mitasag.com)). 9. Bridgestone VT-Tractor tyres. ([www.bridgestone.co.uk](http://www.bridgestone.co.uk)). 10. Ксенович И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксенович, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с. 11. Гуськов В.В. Тракторы: теория / Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 377 с. 12. ГОСТ 26953-86 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия на почву.

**Bibliography (transliterated):** 1. [www.michelinag.com](http://www.michelinag.com). 2. UN/ECE Regulation No.106. 3. Michelin Agriculture and Compact Line Data Book. - 2013. ([www.michelinag.com](http://www.michelinag.com)). 4. Data book for Firestone brand AG tires. - 2011. ([www.firestoneag.com](http://www.firestoneag.com)). 5. Experience the Good Year advantage. - 2014. ([www.titan-intl.com](http://www.titan-intl.com)). 6. The Power beneath Blue Power ([www.trelleborg.com/wheelsystems\\_us](http://www.trelleborg.com/wheelsystems_us)). 7. GOST 17697-72 Автомобили. Качество колеса. Термины и определения. 8. Agricultural tires. Technical data book 2nd edition. Mitas. - 2014. ([www.mitasag.com](http://www.mitasag.com)). 9. Bridgestone VT-Tractor tyres. ([www.bridgestone.co.uk](http://www.bridgestone.co.uk)). 10. Ksenevich I.P. Hodovaja sistema – pochva – urozhaj / I.P. Ksenevich, V.A. Skotnikov, M.I. Ljasko. – М.: Agropromizdat, 1985. – 304 s. 11. Gus'kov V.V. Traktory: teorija / Gus'kov V.V., Velev N.N., Atamanov Ju.E. i dr.; pod obshh. red. V.V. Gus'kova. – М.: Mashinostroenie, 1988. – 377 s. 12. GOST 26953-86 Tehnika sel'skohozjajstvennaja mobil'naja. Metody opredelenija vozdejstvija na pochvu.

Ребров О.Ю., Мигущенко Р.П.

#### ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ІННОВАЦІЙНИХ ТРАКТОРНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ШИН КАТЕГОРІЙ IF ТА VF

Розглянуті загальні показники тракторних сільськогосподарських радіальних шин традиційної технології виготовлення, а також інноваційних шин категорій IF та VF. Запропоновано метод ідентифікації тракторних шин категорій IF та VF, а також деяких сучасних радіальних шин з використанням математичної моделі, побудованої на універсальній навантажувальній характеристиці шин. Метод дозволяє ідентифікувати шини за нормою шаруватості і контурною площею плями контакту з жорсткою опорною поверхнею та використовувати математичну модель для теоретичного аналізу ефективності використання шин категорій IF та VF на існуючих і нових, у тому числі і вітчизняних, сільськогосподарських тракторах.

Rebrov A. Yu., Migushchenko R. P.

#### USE IT-TECHNOLOGIES AT INDICATORS IDENTIFICATION OF INNOVATE TRACTOR FARM TIRES CATEGORIES IF AND VF

Considered overall performance of the agricultural tractor radial tires manufacturing by traditional techniques as well as innovative tires categories IF and VF. It is offered the method of identification of tractor tires categories IF and VF, and some modern radial tires using a mathematical model, based on a tire universal characteristic. The method allows to identify tires by ply rating and gross flat plate area with a rigid supporting surface and to use a mathematical model for theoretical analysis of efficiency of existing and new domestic agricultural tractors, equipped with IF and VF tires.