

5.05.03
Y 47

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

УЛАНов Александр Григорьевич

УДК 629.113.012.55.001.24

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ
ШИНЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРИДАТА

Специальность 05.05.03 - "Автомобили и тракторы"

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1988

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Г.Д. Драгунов.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Р.В. Вирабов,

кандидат технических наук,
доцент Л.Г. Ягодкин.

Ведущая организация - Челябинский машиностроительный
 завод автотракторных прицепов.

Зашита диссертации состоится "д" марта 1988 г.,
в 15⁰⁰ часов, на заседании специализированного совета К 053.13.02
в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсо-
мала по адресу: 454044, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЧПИ им. Ленин-
ского комсомола.

Автореферат разослан "13" марта 1988 г.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью,
заверенной печатью, просим направлять по указанному адресу.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент

Б.В.Жестков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На XXII съезде КПСС, в "Продовольственной программе СССР на период до 1990 года" и на январском 1987 года совещании в ЦК КПСС поставлена задача повышения эффективности сельского хозяйства. В связи с этим в решениях партии и правительства указывается на необходимость расширения производства прицепов к энергонасыщенным тракторам типов К-701 и Т-150К для наиболее полного использования их технических возможностей. Одним из путей решения этой задачи является увеличение грузоподъемности прицепов и их количества. Этого можно достичь только за счет создания шин большей грузоподъемности с лучшими технико-экономическими показателями, экологически совместимых со сложной биологической средой - почвой, что позволило бы сохранить прежнюю компоновку прицепа и принесло бы большие экономические и производственные выгоды. Положительное решение этой задачи невозможно без совершенствования и развития методов расчета и проектирования пневматических шин. Создание их новых конструкций сопровождается решением сложных задач в области физико-механических свойств шин и деформируемых опорных поверхностей. Причем, эффективное применение шины на сельскохозяйственных прицепах становится возможным лишь при условии, что выбор ее конструкции и параметров выполнен с учетом специфики эксплуатации.

При проектировании новых пневматических шин серьезным препятствием для проведения всесторонних экспериментальных исследований является высокая трудоемкость изготовления опытных образцов. Это приводит к тому, что при исследовании взаимодействия пневматической шины с деформируемым грунтом возрастает роль математического моделирования происходящих процессов.

Работа соответствует одному из направлений диссертационных исследований по проблемам автомобильно-тракторостроения, рекомендованных ВАК СССР (бюллетень ВАК, 1984, № I, с.27, п.II). Основанием для ее выполнения явилось постановление ГК СМ СССР по науке и технике (проблема 020, задание 06) и план опытно-конструкторских работ ВПО "Союзавтоприцеп" Минавтопрома СССР на 1982 г., тема № 9/141-78 "Транспортный поезд из полунавесного прицепа и прицепа общей грузоподъемностью 35-40 т".

Целью настоящей работы является разработка и научное обоснование методики выбора параметров пневматической шины для сельскохозяйственного прицепа.

Научная новизна работы. Разработана математическая модель взаимодействия эластичного колеса с деформируемым грунтом в трехмерном пространстве, отличительной особенностью которой является то, что получены новые физические уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние всех существующих типов шин с позиции их конструктивного исполнения. Предложена численная реализация этой модели.

Разработаны принципы математического моделирования качения колеса по деформируемому грунту в ведомом режиме и представлен алгоритм расчета выходных характеристик пневматической шины на ЭВМ.

Получены закономерности распределения напряжений и деформаций в срединной поверхности шины для случая качения колеса в ведомом режиме, что позволило в итоге с достаточной для инженерных расчетов точностью решить контактную задачу взаимодействия эластичного колеса с деформируемым грунтом.

Практическая ценность работы. Разработана формализованная инженерная методика выбора параметров пневматической шины для заданных условий эксплуатации и удовлетворяющая выбранному критерию эффективности.

Данная методика позволяет оценить затраты энергии на перекатывание колеса в ведомом режиме и обеспечивает целенаправленный поиск оптимальных решений, существенно ускоряя и удешевляя выполнение проектировочных и доводочных работ. Результаты представлены в виде программного обеспечения для ЭВМ.

На основе выполненного комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработаны, с учетом срока службы, рекомендации по уменьшению силы сопротивления качению и удельных давлений на почву для шины 1065x420-457 модели КФ-97. Выбраны конструктивные параметры пневматической шины для перспективного сельскохозяйственного прицепа ОЗТП-8585, предполагающего эксплуатацию по пашне.

Внедрение результатов работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы Орским заводом тракторных прицепов при разработке технических требований и определении конструктивных параметров перспективных шин к сельскохозяйственному прицепу ОЗТП-8585. Учтены рекомендации по эксплуатации серийной шины модели КФ-97. Совместно с ОЗТП и НИИ КПШ разработаны рабочие чертежи и изготовлена опытная партия шин.

Апробация работы. Основные результаты работы

докладывались и обсуждались на I-ой областной конференции молодых ученых и специалистов предприятий и организаций машиностроительной промышленности в г. Челябинске (1981г.), на X-ой научно-технической конференции молодежи Управления главного конструктора КамАЗа (1983г.), на XXXI-й и XXXXII-й научно-технических конференциях СибАДИ (1984г., 1987г.), на региональных научно-технических конференциях по повышению эффективности проектирования и испытаний автомобиля в г. Горьком (1984г., 1986г.), на научно-технической конференции, посвященной современным вопросам динамики и прочности в машиностроении в г. Перми (1986г.), на XXXIII-XXXX научно-технических конференциях ЧИИ по секции "Автомобилестроение" (1980-1987 гг.), на научно-технической конференции по повышению топливной экономичности автомобилей и тракторов в г. Челябинске (1987г.).

Л у б л и к а ц и и . По теме диссертации опубликовано девять печатных работ.

О б ъ е м и с т р у к т у р а р а б о т ы . Диссертация, состоящая из введения, четырех глав, выводов и приложения, изложена на 95 страницах машинописного текста, содержит 46 иллюстраций, 6 таблиц. Библиографический список включает в себя 119 наименований трудов отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Состояние вопроса и задачи исследования

При качении эластичного колеса по деформируемой опорной поверхности в системе шина - грунт происходят сложные процессы, трудно поддающиеся математическому моделированию. Бурное развитие математики и прежде всего вычислительной математики, методов математического моделирования и электронной вычислительной техники дало возможность моделирования этой и многих других задач на более высоком уровне, обеспечивающем хорошее соответствие между вычисленными и экспериментальными данными, создать достаточно надежный аппарат математического прогнозирования работы реальной системы. В этом плане представляют интерес работы Я.С.Агейкина, В.Ф.Бабкова, В.Л.Бидермана, В.П.Бойкова, Н.Ф.Бочарова, Б.Л.Бухина, В.Е.Быховцева, Р.В.Бирюкова, И.И.Водяника, В.В.Гуськова, Ю.А.Ечегистова, Д.И.Золотаревской, В.А.Карпенко, В.В.Кацыгина, В.И.Кнорсона, И.П.Ксеневича, Е.Е.Новичкова, В.А.Петрушова, В.М.Семенова,

С.Л.Соколова, Н.А.Ульянова, Л.Г.Ягодкина, Р.Н.Йонга (R.N.Yong), Дж.В.Перумпрола (J.V.Perumprol), Р.А.Ридха (R.A.Ridha), В.В.Кертиса (W.W.Curtiss), Дж.Тавазза (G.Tavazza), В.Г.Сеутнэ (W.H.Soehne).

Анализ опубликованных работ показал, что особый успех достигнут в расчетах равновесной конфигурации пневматической шины, взаимодействия шины с твердой опорной поверхностью, а также в расчетах напряженно-деформированного состояния грунтового основания под жестким штампом. В большинстве случаев последние были выполнены применительно к строительной механике.

Вопросы взаимодействия эластичного движителя с деформируемым грунтовым основанием исследованы в значительно меньшей мере. Если такие попытки и делались, то исследователи ограничивались рассмотрением двухмерной задачи, не в полной мере отражаящей действительность, не учитывались конструктивные особенности шины, а используемые модели давали возможность получить выходные характеристики пневматической шины на основе экспериментальных данных без рассмотрения внутреннего механизма ее деформирования и без учета механических характеристик материалов.

Проектные организации, которые непосредственно занимаются конструированием пневматических шин, в основном выполняют расчеты на прочность. Процесс взаимодействия остается за рамками их поля деятельности, хотя и кажется очевидной необходимость рассмотрения взаимодействия шины с грунтом в комплексе.

В последнее время были сделаны попытки определить математическим путем будущие свойства проектируемой шины. Однако, несмотря на достигнутые успехи в области исследования работы пневматической шины и ее проектирования, наиболее актуальным и перспективным направлением исследования было и остается до настоящего времени изучение процесса взаимодействия эластичного колеса с деформируемой опорной поверхностью аналитическим путем, прогнозирование выходных характеристик взаимодействия в зависимости от конструкции шины, ее параметров и условий эксплуатации. Это создает предпосылки для совершенствования конструкции шины. Особенно сложна и актуальна постановка этой проблемы при решении ее в трехмерном пространстве. В связи с вышеприведенным, в диссертационной работе были поставлены следующие основные задачи:

Разработка математической модели взаимодействия пневматической шины с деформируемой опорной поверхностью в трехмерном пространстве.

Экспериментальная проверка адекватности разработанной модели.

Анализ взаимодействия пневматических шин с грунтовым основанием.

Разработка рекомендаций по эксплуатации серийной шины КФ-97 и выбор конструктивных параметров пневматической шины, предназначенной для эксплуатации ее по пашне (удельный вес грунта $1,314 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$), из условия минимальных энергетических затрат на перекатывание колеса в ведомом режиме.

2. Обоснование и разработка модели взаимодействия пневматической шины с деформируемой опорной поверхностью

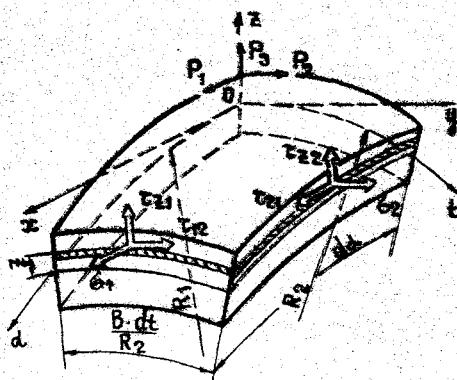
При определении всех составляющих напряжений и деформаций, возникающих в системе шина - грунт, воспользуемся теориями моментных оболочек вращения и механики грунтов.

В основу физической модели шины были положены следующие гипотезы теории упругих оболочек:

- прямолинейный элемент, перпендикулярный срединной поверхности до деформации, остается прямым и перпендикулярным деформированной срединной поверхности и не изменяет своей длины;

Распределение интенсивности нагрузки и напряжений на границах элемента шины произвольной формы

Схема растяжения элемента стенки шины



Деформация элемента стенки шины без изменения
длины нитей корда

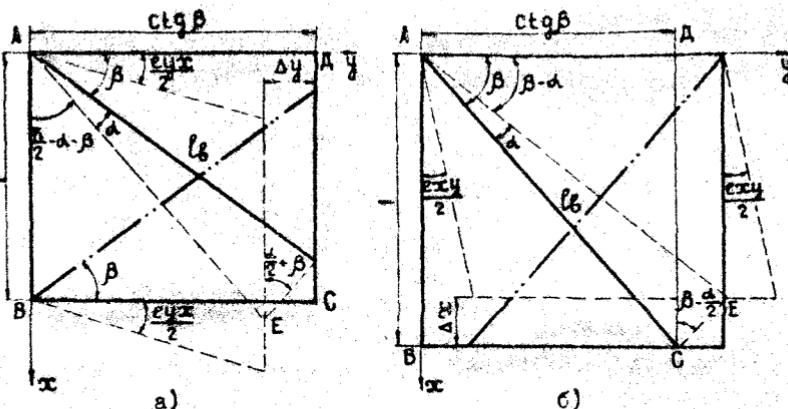


Рис. 3

- нормальные напряжения на площадках, параллельных срединной поверхности, пренебрежимо малы по сравнению с прочими напряжениями.

Рассмотрим равновесие элемента оболочки произвольной формы, заданной в системе криволинейных координат смешанного типа $d\zeta d\tau$ (рис. 1). Внешнюю нагрузку будем считать произвольной, непрерывно распределенной по поверхности оболочки.

Из анализа деформаций в своей плоскости элемента стенки шины (рис. 2, 3) следуют важные зависимости, характеризующие напряженно-деформированное состояние пневматической шины:

$$\epsilon_1 = \frac{E_p}{1-\mu_p^2} \left[(ex + ctg\beta \cdot \frac{\beta}{R} |exy|) + \mu_p (ey + \operatorname{tg}\beta \cdot \frac{R-2\beta}{2R} |exy|) \right] +$$

$$+ \sum_{K=1}^n e_k \cdot E_k \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \sin^2 \beta;$$

$$\epsilon_2 = \frac{E_p}{1-\mu_p^2} \left[(ey + \operatorname{tg}\beta \cdot \frac{R-2\beta}{2R} |eyx|) + \mu_p (ex + ctg\beta \cdot \frac{\beta}{R} |eyx|) \right] +$$

$$+ \sum_{K=1}^n e_k \cdot E_k \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \cos^2 \beta;$$

$$\tau_{12} = G_p \cdot exy;$$

$$\tau_{21} = G_p \cdot eyx,$$

где E_p - модуль деформации (упругости) резины; G_p - модуль сдвига резины; E_b - модуль деформации (упругости) кордного материала; μ_p - коэффициент Пуассона резины; β - угол наклона нити корда к меридиану; e_x, e_y - компоненты продольной деформации по направлениям соответственно Ox и Oy ; e_{xy} , e_{yx} - компоненты деформации сдвига в касательной плоскости Oxy ; e_g - относительное удлинение нити корда; i - частота нитей корда в слое; d - калибр нити корда; k - порядковый номер слоя (отсчет ведется от внутренней поверхности шины).

Из основных уравнений теории оболочек следует, что результирующие поперечные силы Q_a и Q_t можно записать в дифференциальной форме следующим образом:

$$Q_a = \frac{1}{R_2(t)} \cdot \frac{\partial}{\partial t} (R_2(t) \cdot M_a);$$

$$Q_t = \frac{1}{R_1(t)} \cdot \frac{\partial}{\partial t} (R_1(t) \cdot M_t).$$

Введение гипотезы прямых нормалей позволяет свести задачу о напряженном состоянии элемента стенки шины к задаче о напряженном состоянии его срединной поверхности. Изгибающие моменты при этом можно получить, суммируя по высоте сечения соответствующие нормальные напряжения:

$$M_a = \frac{1}{h_2 \cdot R_2(t)} \cdot \int_0^h b_1 \cdot (R_2(t) + z) \cdot z \cdot dz;$$

$$M_t = \frac{1}{h_1 \cdot R_1(t)} \cdot \int_0^h b_2 \cdot (R_1(t) + z) \cdot z \cdot dz.$$

При этом положение срединной поверхности (рис. 4) определялось из уравнения

$$h_H = \frac{E_b \cdot \frac{R \cdot d^2}{4} \cdot i \cdot \sum_{n=1}^N h_n^6 \cos^2 \beta - \frac{E_p}{1-\mu_p^2} \cdot \frac{h^2}{2}}{E_b \cdot \frac{R \cdot d^2}{4} \cdot i \cdot \sum_{n=1}^N \cos^2 \beta}.$$

За физическую модель деформируемого основания принята модель линейно деформируемого слоя грунта ограниченной толщины, опирающегося на жесткое основание, широко развитая и исследуемая проф. Н.Е. Егоровым.

При передаче нагрузки на поверхность грунта через штамп оса-

дка последнего, согласно формулам теории линейно деформируемых тел, выражается зависимостью

$$S = \Omega \cdot 6z \cdot \sqrt{F_K \cdot (1 - \mu^2)} / E_{ГР}, \quad (I)$$

где Ω – коэффициент, зависящий от формы штампа; $6z$ – давление на подошву штампа; F_K – площадь штампа; μ – коэффициент Пуассона грунта.

Положение срединной поверхности в толще каркаса шины

Модули упругости и деформации при различных глубинах вдавливания штампа

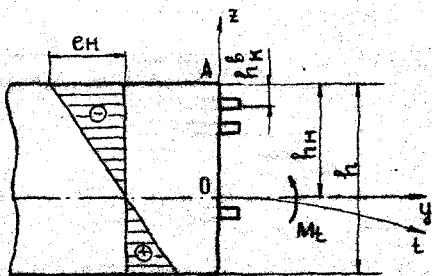


Рис. 4

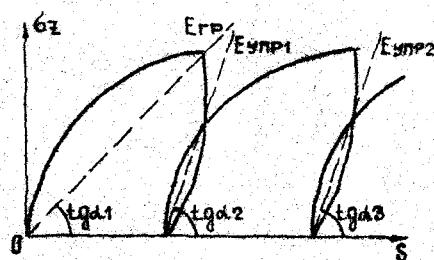


Рис. 5

Как известно, грунт не является линейно деформируемым телом и характер протекающих в нем процессов меняется при росте нагрузки. Зависимости между нагрузкой и деформацией при вдавливании в грунт штампа и при его разгрузке выражаются не прямыми линиями, как следовало бы из приведенного уравнения (I), а кривыми (рис. 5).

Модули деформации и упругости грунтов определялись по результатам испытаний грунтов по вдавливанию в них жестких круглых площадок – штампов. Модуль деформации определялся по кривой вдавливания, а модуль упругости по восстановившимся деформациям.

Напряжения на гранях конечных элементов системы шина – грунт были сведены к статически эквивалентным равнодействующим усилиям. После составления уравнений равновесия проекций всех внутренних усилий на соответствующие оси была получена система разрешающих уравнений относительно узловых перемещений:

$$\begin{cases} S_x l, j, k = 0; \\ S_y l, j, k = 0; \\ S_z l, j, k = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В узлах границы, где известны перемещения u^* , v^* и w^* , выполняются условия:

$$u_{i,j,k} = u^*_{i,j,k};$$

$$v_{i,j,k} = v^*_{i,j,k};$$

$$w_{i,j,k} = w^*_{i,j,k}.$$

Принято, что начальное распределение нормального и тангенциального напряжений в пределах площади пятна контакта имеет параболический характер. Процесс моделирования качения колеса сводится к решению квазистатической задачи. Коэффициенты в уравнениях (2) являются сложными функциями координат, поэтому поиск аналитических решений этих уравнений сопряжен со значительными математическими трудностями. В связи с этим, для решения поставленной задачи был использован вариационно-разностный метод. Система алгебраических уравнений относительно узловых перемещений u , v и w решалась методом Гаусса с использованием принципа бегущего треугольника.

Расчет напряженно-деформированного состояния системы шина - грунт осложняется тем, что деформации подвержены оба контактирующих тела. Поэтому задача нагружения грунта пневматической шиной решалась методом итерации. После стабилизации расчетных величин имитировалось поступательное движение колеса вперед.

Расчет выполнялся при непрерывном приращении величин перемещений до тех пор, пока не станут малы изменения количества затрачиваемой на деформацию энергией при последовательных перемещениях шины.

3. Экспериментальная проверка адекватности разработанной модели и подготовка исходных данных для теоретических исследований

Программа экспериментальных исследований предусматривала проведение следующих испытаний:

- статические испытания пневматической шины;
- определение физико-механических свойств грунта;
- испытания по определению силы сопротивления качению колеса в ведомом режиме.

По результатам статических испытаний строились зависимости нормальных прогибов шины и площадей контакта по выступам рисунка протектора от нормальной нагрузки колеса при различных значениях внутреннего давления воздуха в шине.

Отдельным лабораторным экспериментом было определение свойств грунта. Испытания грунта на сжимаемость проводились с использованием одометра. По результатам испытаний строились зависимости между нагрузкой-разгрузкой и осадкой грунта с различными удельными весами последнего. Эти зависимости в дальнейшем использовались в качестве исходных данных при выполнении расчетов.

Во время эксперимента на стенде в грунтовом канале регистрировались параметры: сила сопротивления качению колеса, нормальная нагрузка колеса, внутреннее давление воздуха в шине, глубина колеи и плотность грунта в следе до и после прохода колеса. Комплекс действительных внешних сил, действующих на колесо со стороны опорной поверхности в зоне контакта, замерялся динамометрической ступицей. Контроль за плотностью грунта осуществлялся при помощи плотно-влагомера инженера Ковалева, основанного на принципе гидростатического взвешивания. На основании полученных результатов измерения строилась зависимость силы сопротивления качению колеса от давления воздуха в шине, при фиксированной номинальной нормальной нагрузке на колесо, а также зависимости глубины колеи и плотности грунта по следу от внутреннего давления воздуха вшине.

Проведение статических испытаний и испытаний в грунтовом канале приследовало одну и ту же цель: проверка адекватности разработанной математической модели. Сопоставление результатов, полученных теоретическим и экспериментальным путем, показало, что относительная погрешность моделирования в исследуемых диапазонах работы пневматической шины находится в пределах 3-6%, единичные максимальные значения ее не превышают 18%. Это свидетельствует о пригодности разработанной модели для исследования взаимодействия эластичного колеса с деформируемым основанием, а также для выполнения практических расчетов при проектировании пневматических шин.

На основании выполненного комплекса исследований были даны рекомендации по эксплуатации шины 1065x420-457 модели КФ-97.

4. Выбор параметров пневматической шины для заданных условий эксплуатации

Техническое задание на проектирование пневматической шины было разработано в соответствии с требованиями ОСТ-38004-74-75.

В настоящее время радиальные сплошные шины благодаря своей конструкции имеют эксплуатационные показатели выше, чем дру-

гие типы шин. Это способствовало тому, что за разрабатываемую конструкцию была принята шина типа Р. С целью обеспечения рекомендованного запаса прочности и требуемой работоспособности разрабатываемой шины, с учетом данных о работоспособности существующих шин аналогичного назначения, было предусмотрено применение в каркасе полиамидного корда 23 КНТС и 232 КНТС (1-8 слои и 9-12 слои соответственно), обладающего высокой прочностью при воздействии ударных нагрузок, а также высокопрочного корда 232 ВР в брекере (6 слоев).

В связи с тем, что шина предназначена для сельскохозяйственного прицепа и к ней предъявляются строгие требования по удельным давлениям, наружный диаметр и ширина шины были взяты максимально возможными и равными 1,1м и 0,6м соответственно. Отношение высоты профиля шины к его ширине выбиралось на основе разработанной математической модели. В качестве критерия эффективности использовалась безразмерная величина – коэффициент сопротивления качению, позволяющий сравнивать между собой и оценивать совершенство конструкций шин различных типоразмеров. Так как функция цели нельзя выявить явными аналитическими зависимостями, пришлось идти путем приближенных решений с применением метода линейного программирования. Нахождение минимума функции $f = f(M/B)$ осуществлялось методом наискорейшего спуска. Применение этого метода было оправдано проведенными численным экспериментом, подтверждающим унимодальный характер исследуемой функции. Точка найденная данным методом является точкой локального минимума, то есть ее решением.

Решая поставленную задачу по разработанной методике, наименьшее значение функции коэффициента сопротивления качению колеса f равное 0,28, при перекатывании колеса по грунту с плотностью $1,314 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, было достигнуто при отношении M/B равном 0,48. Внутреннее давление воздуха в шине при этом составляло 0,54 МПа, что соответствует 13% относительной деформации шины. Все последующие расчеты на прочность были выполнены по методике, предложенной В.Л.Бидерманом.

Разработанная методика позволяет определить расчетным путем компоненты перемещений и напряжений в узловых точках комечных элементов системы шина - грунт. В качестве примера на рис. 6-9 приведены результаты расчетов для характерных, наиболее нагруженных сечений шины и грунта.

Таким образом, используя минимум исходных данных (характери-

стики материалов шины, ее конструкция и, экспериментально полученный, закон деформирования грунта), можно на стадии проектирования предсказать будущие свойства проектируемой шины. Полученные результаты расчетов наглядно характеризуют напряженно-деформированное состояние системы шина-грунт в трехмерном пространстве для случая качения эластичного колеса в ведомом режиме. Это дает возможность выявить влияние параметров пневматической шины на выходные характеристики колеса и создает предпосылки для дальнейшего совершенствования колесного движителя.

Поперечная эпюра деформаций шины

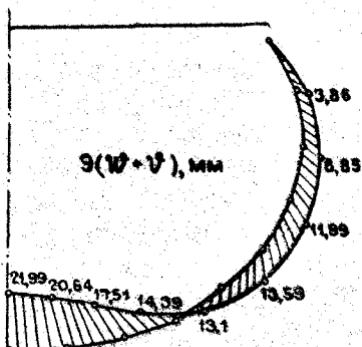


Рис. 6

Поперечная эпюра деформаций грунта

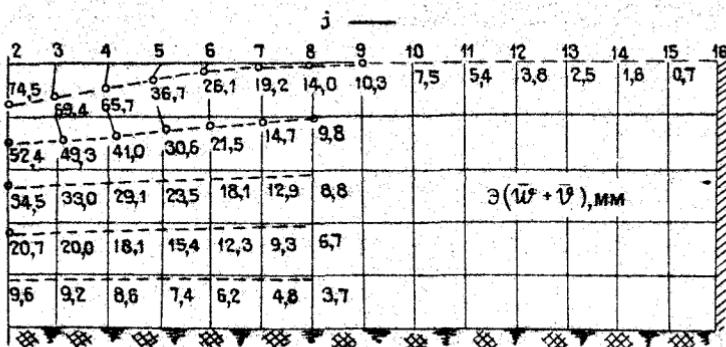
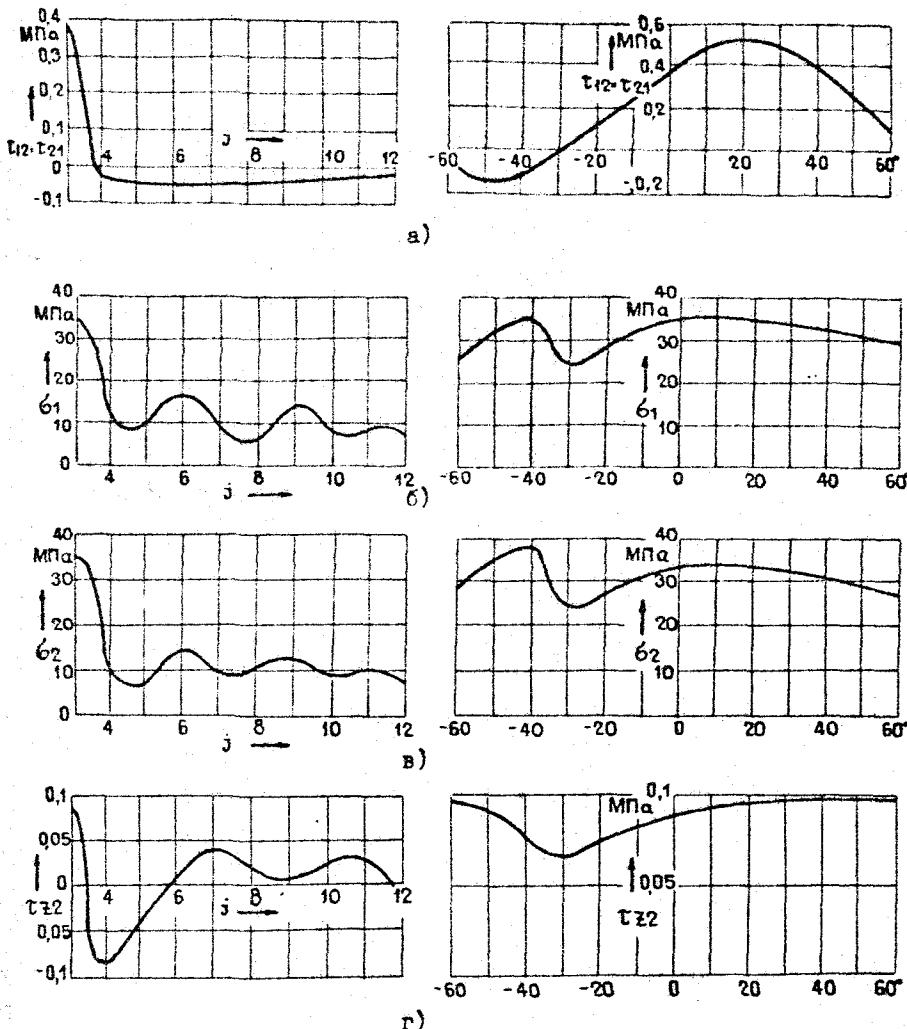


Рис. 7

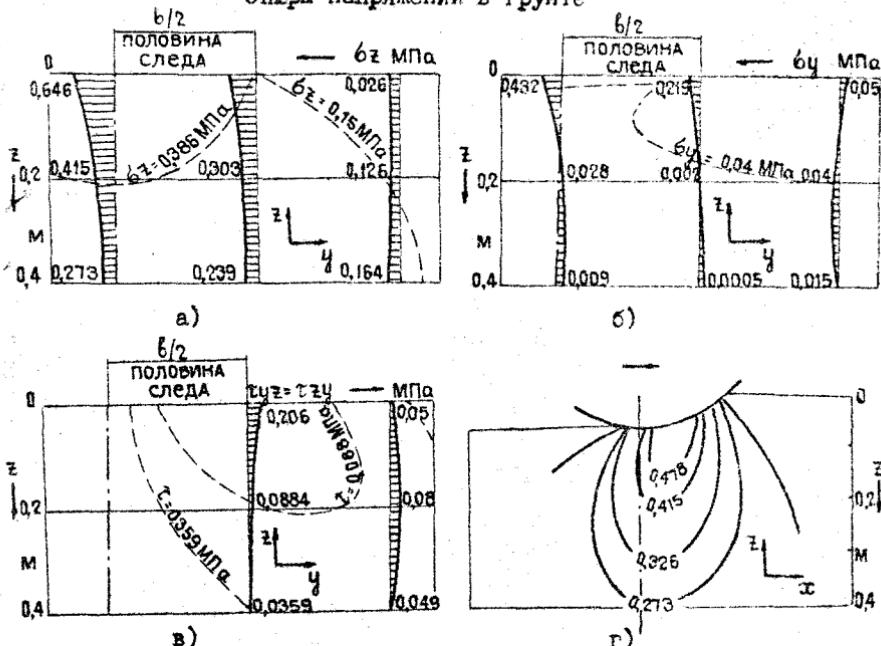
Напряжения, возникающие в меридиональной плоскости
и в плоскости экватора предлагаемой шины



- a) – касательные напряжения $\tau_{12} = \tau_{21}$ на границах $\alpha = \text{const}$ и $t = \text{const}$; б) – нормальные напряжения σ_1 на грани $\alpha = \text{const}$; в) – нормальные напряжения σ_2 на грани $t = \text{const}$; г) – касательные напряжения τ_{22} , действующие вдоль нормали к каркасу шины.

Рис. 8

Эпюры напряжений в грунте



- a) – поперечная эпюра максимальных нормальных давлений σ_z ;
- б) – поперечная эпюра максимальных напряжений τ_{xy} ; в) – поперечная эпюра максимальных напряжений $\tau_{yz} = \tau_{zy}$;
- г) – изобары нормальных давлений в экваториальной плоскости.

Рис. 9

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель взаимодействия эластичного колеса с деформируемым грунтом в трехмерном пространстве, отличительной особенностью которой является то, что получены и использованы новые физические уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние всех существующих типов шин. Она позволяет учесть влияние конструктивных параметров пневматической шины на выходные характеристики колеса.

2. Оценка адекватности математической модели показала, что относительная погрешность моделирования в диапазоне изменения внутреннего давления воздуха в шине от 0,1 до 0,45 МПа и нормаль-

ной нагрузки колеса от 15 до 45 кН находится в пределах 3-6%, единичные максимальные значения ее не превышают 18%. Это свидетельствует о пригодности данной модели для исследования взаимодействия эластичного колеса с деформируемым основанием, а также для выполнения практических расчетов при проектировании пневматических шин.

3. При разработке программы расчета на ЭВМ установлено, что с целью сокращения времени счета, повышения точности и возможности реализации разработанной модели на ЭВМ серии ЕС целесообразно начальную нагрузку, прикладываемую к грунту через шину, выражать в приближенном виде посредством параболического распределения, использовать метод сгущения сеток, а систему линейных алгебраических уравнений решать методом Гаусса с использованием принципа бегущего треугольника.

4. Теоретически показано, что для снижения энергетических затрат на перекатывание колеса по деформируемому грунту с плотностью $1,314 \cdot 10^3$ кг/м³ при заданных ограничениях, накладываемых на конструкцию движителя, отношение высоты профиля шины к его ширине должно быть равным 0,48. При этом коэффициент сопротивления качению уменьшится по сравнению с серийной шиной на 8%. Эти результаты использованы и учтены при выборе параметров опытной шины для перспективного прицепа ОЗТП-8585.

5. Повышение грузоподъемности предлагаемой пневматической шины на 13 кН вызвало увеличение ее нагруженности по сравнению с серийной шиной на 10%. Несмотря на это, основные результирующие деформации шины и грунта уменьшились в итоге всреднем соответственно на 8 и 40%. Это, в свою очередь, привело к снижению суммарных энергетических потерь на перекатывание колеса по деформируемому грунту.

6. При выполнении транспортных работ на полях в весенне-летний период внутреннее давление в шинах модели КФ-97 должно быть снижено до 0,2-0,25 МПа. Это соответствует уменьшению силы сопротивления качению на 3-8%. Максимальные удельные давления в пятне контакта при этом будут составлять 0,57-0,63 МПа. При эксплуатации прицепа на дорогах с усовершенствованным покрытием допускается увеличение нормальной нагрузки на колесо до 40 кН при внутреннем давлении воздуха вшине 0,4 МПа. Относительная деформация при этом будет составлять 14%, степень нагруженности 221,45 кН/м², условный запас прочности находится в пределах допустимого интервала.

7. Предлагаемая методика, в сочетании с существующими ранее методиками расчета на прочность пневматической шины, позволяет выбрать конструктивные ее параметры на основании моделирования взаимодействия шины с грунтом, получить в трехмерном пространстве картину их напряженно-деформированного состояния, оценить выходные характеристики шины на стадии проектирования и является составным элементом САПР.

8. Выработанные в результате теоретических и экспериментальных исследований положения переданы на ОСТП и использованы при создании перспективных моделей прицепов с экономическим эффектом 32530 рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Галимзянов Р.К., Гальсбанд Ф.С., Уланов А.Г. О методике расчета параметров широкопрофильных шин// Исследование силовых установок и масси транспортных и тяговых машин: Сборник науч. трудов/ Редкол.: И.С.Кавьяров (отв. ред.) и др.-Челябинск:ЧИИ, 1981.-№ 268.-С.23-26.

2. Галимзянов Р.К., Уланов А.Г., Гальсбанд Ф.С. К расчету анизотропной моментной оболочки вращения// Исследование торможения автомобиля и работы пневматических шин: Межвузовский сборник/ Редкол.: К.А.Петров (отв. ред.) и др.-Сыктывкар:ОМИИ.-1983.-С.115-121.

3. Галимзянов Р.К., Уланов А.Г., Гальсбанд Ф.С. К расчету пневматических шин// Исследование силовых установок и масси транспортных и тяговых машин: Сборник науч. трудов/ Редкол.: Н.Н.Куликов (отв. ред.) и др.-Челябинск:ЧИИ, 1982.-№ 272.-С.66-69.

4. Галимзянов Р.К., Уланов А.Г., Гальсбанд Ф.С. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния шин// Исследование силовых установок и масси транспортных и тяговых машин: Тем. сборник науч. трудов/ Редкол.: Б.А.Шароглазов (отв. ред.) и др.-Челябинск:ЧИИ, 1984.-С.97-100.

5. Галимзянов Р.К., Уланов А.Г. Расчет напряженно-деформированного состояния пневматической шины на деформируемой опорной поверхности// Современные вопросы динамики и прочности в машиностроении: Тезисы докл. (12-13 марта 1986г.)/ Отв. ред. С.Л.Сьянинов.-Пермь, 1986.-С.14.- В надзаг.: Перм. обл. правл. НТО Машпром, Перм. обл. Дом Техники НТО, Перм. политех. ин-т.

6. Драгунов Г.Д., Галимзянов Р.К., Уланов А.Г. Выбор параметров колесного движителя// Повышение эффективности проектирования

и испытаний автомобилей: Тезисы докл. регион. науч.-тех. конференции (20-22 нояб. 1986 г.) - Горький, 1986. - С.32. - В надзаг.: Горьк. обл. правл. НТО Машпром, Горьк. политех. ин-т ЦНИИ.

7. Драгунов Г.Д., Галимзянов Р.К., Уланов А.Г. Снижение энергетических затрат на перекатывание колесного движителя в ведомом режиме// Повышение топливной экономичности автомобилей и тракторов: Тезисы докл. (30 нояб. 1987 г.)/ Науч. ред. Г.Д.Драгунов.- Челябинск, 1987. - С.42-43. - в надзаг.: Уральск. Дом научно-тех. пропаг. общества "Знание", Челяб. политех. ин-т, ЧФ НАТИ, Челяб. обл. правл. НТО Машпром, Челяб. межстр. территор. ЦНИИ.

8. Разработка и испытание шин низкого давления для перспективных моделей прицепов к тракторам класса 8 тс тяги: Отчет о НИР (заключит.)/ Челяб.политех. ин-т; Руководитель Р.К.Галимзянов.- № ГР 81001478; Изв. № 02870062908. - Челябинск, 1986.-64с: ил.- Отв. исполн. Г.К.Галимзянов, А.Г.Уланов.-Библиогр.: с.59-64.

9. Уланов А.Г., Галимзянов Р.К. Методика расчета конструктивных параметров пневматической шины// Повышение эффективности проектирования и испытаний автомобилей (в том числе для сельского хозяйства): Тезисы докл. регион. науч.-тех. конференции/ Науч. ред. Р.А.Мусарский. - Горький, 1984. - С.19-20. - В надзаг.: Горьк. обл. правл. НТО Машпром, Горьков. политех. ин-т.

Р.Султанов

Подписано к печати 21.12.87. ФБ 03175. Формат 60Х90 1/16.

Печ. л. 1. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заяв. 615/1434.

УСП ЧЕИ. 454044. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.