

Автомобильные шины

ГОСХИМИЗДАТ
МОСКВА • 1963



В. Л. БИДЕРМАН, Р. Л. ГУСЛИЦЕР, С. П. ЗАХАРОВ,
Б. В. НЕНАХОВ, И. И. СЕЛЕЗНЕВ, С. М. ЦУКЕРБЕРГ

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ШИНЫ (КОНСТРУКЦИЯ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ)

Под общей редакцией В. Л. БИДЕРМАНА

210713

1976

766

В. Л. БИДЕРМАН
ЗАВОДСКОГО
ИЗДАТЕЛЬСТВА
1976



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ХИМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва · 1963

766

В книге рассмотрены теория, методы расчета, конструирование и испытание автомобильных шин. Уделено внимание шинам новейших типов с меридиональным направлением нитей в каркасе, со съёмными протекторными кольцами и шинам высокой проходимости.

Книга предназначена для инженеров шинной и автомобильной промышленности, а также для лиц, работающих в области эксплуатации автотранспорта; она может быть использована студентами и аспирантами, специализирующимися в указанных областях.

S10413

2001

1980

1995

1972

Предисловие	6
Глава I. Общие сведения об автомобильных шинах	
Конструкция автомобильной шины и основные этапы ее развития	8
Современные тенденции в развитии пневматических шин	15
Классификация автомобильных шин и ободов	23
Типы ободов автомобильных колес	26
Краткий очерк технологии производства автомобильных шин	30
Подготовительные процессы	30
Обрезинивание корда	33
Раскрой корда и наложение резиновых прослоек	35
Изготовление протекторов	37
Изготовление крыльев	39
Сборка покрышек и бескамерных шин	40
Формование и вулканизация покрышек	42
Изготовление камер и ободных лент	45
Глава II. Основы теории пневматических шин	
Резино-кордные сетчатые конструкции и их свойства	46
Геометрия нитей корда в каркасе шины	46
Упругие свойства элемента резино-кордной конструкции	57
Нагружение шины внутренним давлением	71
Равновесная конфигурация шины	71
Определение равновесной конфигурации шины по известному профилю вулканизационной формы	80
Определение усилий в нитях корда	83
Усилия в бортовых кольцах	85
Определение конфигурации надутой шины и усилий в ее элементах с учетом удлинения нитей корда	88
Радиальное обжатие и свободное качение шины	98
Контакт шины с дорогой	99
Нагрузочная характеристика шины	103
Напряжения и деформации, возникающие в элементах шины при качении	117
Потери при качении	131
Восприятие шиной тяговой, тормозной и боковой нагрузок	134
Тяговая и тормозная нагрузки	134
Боковая нагрузка	136

Особенности работы шин при высоких скоростях качения	139
Напряжения в элементах шины, вызываемые центробежными силами	139
Критическая скорость качения шины	143
Режимы деформации шинных материалов	156
Соотношения подобия и выбор основных размеров шины	163
Деформации камеры в пневматических шинах	169

Г л а в а III. Проектирование автомобильных шин

Технические требования к шине	172
Выбор шинных материалов	174
Корд и другие текстильные материалы	174
Резина для деталей шин	181
Бортовая проволока	185
Определение основных размеров надутой шины	186
Ширина профиля надутой шины и внутреннее давление	186
Обод	187
Тип рисунка и основные размеры протектора шины	188
Основные размеры профиля надутой шины	192
Разработка чертежа покрышки по вулканизационной прессформе	202
Разработка чертежа распределения материалов в покрышке и составление спецификации	211
Конструирование ездовой камеры	216
Конструирование ободной ленты	221
Разработка основных параметров технологической оснастки для производства шин	222
Конструирование деталей червячного пресса, профилирующих заготовки протектора, камеры и ободной ленты	222
Построение профиля сборочного барабана	224
Конструирование варочной камеры	225
Конструирование диафрагмы для формования и вулканизации покрышек в форматоре-вулканизаторе	228
Конструирование прессформ для вулканизации покрышек	228
Конструирование прессформ для вулканизации ездовых камер, диафрагм и ободных лент	235

Г л а в а IV. Шины с меридиональным расположением нитей корда в каркасе

Конструкция и особенности работы шин	238
Особенности расчета шин типа Р	241
Конфигурация шины	241
Определение усилий в нитях корда и бортовых кольцах	247
Учет удлинения нитей корда	249
Особенности технологии шин с меридиональным направлением нитей корда в каркасе	250
Шины со съёмным протектором	251

Г л а в а V. Особенности конструкции шин специального назначения

Шины для автомобилей высокой проходимости	254
Значение шин в повышении проходимости автомобилей	254

Шины с регулируемым давлением воздуха	257 ✓
Алочные шины	265
Пневмокотки	271
Широкопрофильные шины	272
Шины для сельскохозяйственных машин	278
Скоростные шины	286

Глава VI. Методы испытания шин

Виды испытаний шин	291
Определение рабочих характеристик шин	292
Податливость шины и площадь контакта с опорной поверхностью	292
Давление в площади контакта	294
Сцепление с дорогой	295
Боковой увод	300
Сопротивление качению	303
Исследование характеристик, определяющих долговечность шин . .	310
Обкатка шин на станках	310
Оценка сопротивления каркаса шин сосредоточенным нагрузкам	316
Оценка износостойкости шин	323
Эксплуатационные испытания шин	327
Ускоренные дорожные испытания шин	334

Глава VII. Эксплуатация автомобильных шин

Основные причины разрушения шин в эксплуатации	336
Влияние дорожных условий и климата на эксплуатацию шин	337
Режим работы шин	338
Техническое обслуживание шин	343
Соблюдение норм нагрузки и внутреннего давления	346
Вожжение автомобиля	346
Исправность автомобиля	347
Перестановка колес	348
Ремонт шин	348
Учет работы шин	350
<i>Литература</i>	351
<i>Приложения</i>	353

Потребности народного хозяйства вызвали бурный рост шинной промышленности. На большом числе мощных шинных заводов проектируются, изготавливаются и испытываются шины, предназначенные для грузовых и легковых автомобилей, сельскохозяйственных и других машин. В этих условиях особенно большое значение приобретает развитие теории работы шин, обобщение опыта их проектирования и испытания.

Между тем до настоящего времени в отечественной технической литературе отсутствовали книги, посвященные конструкции и расчету шин. Крайне скудна и иностранная книжная литература, посвященная этому вопросу¹⁻³.

Авторы настоящей книги поставили своей задачей восполнить имеющийся в этой области пробел. В книге на основе исследовательских работ, проведенных главным образом в НИИ шинной промышленности, рассмотрены конструкции пневматических шин, методы их расчета, проектирования и испытания.

Книга состоит из семи глав.

В первой главе рассмотрено устройство пневматических шин, история их развития и кратко изложены методы изготовления шин.

Вторая глава посвящена теории и расчету шин. В этой главе рассмотрено поведение шины при различных видах нагрузок, причем изучаются напряжения и деформации, возникающие в элементах шины, а также внешние ее характеристики.

Методы проектирования шин рассмотрены в третьей главе книги. В этой главе даются рекомендации по выбору основных параметров шины, а также рассмотрены конкретные приемы проектирования шин и технологического оборудования для их производства (прессформы, варочные камеры и т. д.).

Четвертая глава книги посвящена шинам, имеющим меридиональное направление нитей корда в каркасе (шины типов Р и РС). Рассмотрена работа этих шин и особенности их изготовления.

Особенности конструкции шин, предназначенных для машин высокой проходимости, сельскохозяйственных машин, а также для скоростных и гоночных автомобилей, излагаются в пятой главе книги.

В шестой главе приводятся основные сведения о методах испытания шин в лабораторных, дорожных и эксплуатационных условиях.

Седьмая глава книги посвящена эксплуатации автомобильных шин.

Общее редактирование книги выполнено В. Л. Бидерманом, им же написаны главы II и IV, а также разделы: «Виды испытаний шин», «Эксплуатационные испытания шин» и «Ускоренные дорожные испытания шин» из главы VI.

Глава I написана С. М. Цукербергом и Б. В. Ненаховым.

Автором III главы является И. И. Селезнев.

Разделы гл. V, посвященные арочным шинам и шинам для сельскохозяйственных машин, написаны С. П. Захаровым; раздел, посвященный скоростным шинам,—Р. Л. Гуслицером; остальная часть главы написана С. М. Цукербергом и Б. В. Ненаховым совместно. С. М. Цукерберг является также автором гл. VII и раздела «Определение рабочих характеристик шин», а также раздела «Оценка износостойкости шин» из гл. VI. Раздел «Исследование характеристик, определяющих долговечность шин» из главы VI—написан Р. Л. Гуслицером.

Авторы выражают глубокую благодарность всем сотрудникам НИИ шинной промышленности, работы которых нашли свое отражение в книге.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИНАХ**КОНСТРУКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ
И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ**

Создание пневматических шин явилось важнейшим фактором в развитии безрельсового наземного транспорта. Паровые двигатели, изобретенные в XVIII веке, а затем и двигатели внутреннего сгорания обеспечивали возможность создания достаточно мощных и быстроходных самодвижущихся экипажей, однако эта возможность не могла быть реализована из-за отсутствия способов амортизации толчков, испытываемых экипажем.

В двадцатых годах XIX века для амортизации толчков на обода колес громоздких паровых дилижансов накладывался листовая каучук. Изобретение вулканизации позволило перейти к резиновой амортизирующей ленте, закрепляемой на ободе колеса с помощью выточек в форме ласточкина хвоста.

В восьмидесятых годах XIX века были изобретены массивные шины, привулканизованные к ободу колеса, а также полые шины и шины с пористым сердечником. Однако все эти шины, не обладая достаточной амортизационной способностью, не могли обеспечить потребности автомобильного транспорта.

В связи с этим громадное значение имело изобретение пневматической шины Данлопом в 1888 г.

В последующие несколько лет усовершенствуется крепление шины Данлопа на ободе, осуществлявшееся вначале с помощью тканевых лент, а впоследствии (1890—1892 гг.)—с помощью проволочных колец, заложенных в бортах шины. К этому же времени (1891 г.) относится первое упоминание о применении камеры.

Интенсивно совершенствовались в этот период все элементы конструкции шины.

Особо большую роль в повышении работоспособности шины сыграло изобретение беззубочной ткани (корда). Первая покрышка, изготовленная с применением корда, появилась в 1893 г.

До 1925 г. применялись клинчерные шины, которые имели кольцевые выступы на бортах, заходящие в соответствующие впадины краин обода. Такое крепление оказалось ненадежным при повысившихся скоростях движения автомобилей. Кроме того,

недостатками клинчерных шин являлась возможность повреждения бортовой части закраиной обода, а также сложность монтажа.

После клинчерных шин повсеместное распространение получили прямобортные шины, применяющиеся и в настоящее время.

Важный конструктивный элемент шины—рисунок протектора появился уже в 90-х годах прошлого столетия на велосипедных шинах, когда выяснилось, что гладкие резиновые шины скользят на грязных дорогах. Первоначально применялось только неглубокое рифление беговой дорожки, а впоследствии (1891 г.) появились уже различные рисунки протектора. На автомобильных шинах рисунки протектора появились спустя примерно 12 лет. Первые рисунки протектора представляли собой простое чередование невысоких выступов и впадин, расположенных поперек беговой дорожки.

В дальнейшем в целях улучшения сцепления с дорогой, снижения износа протектора, а также для уменьшения шума при движении автомобиля начали применять более расчлененные рисунки протектора.

Можно считать, что современная автомобильная шина, в основных чертах, была разработана к тридцатым годам нашего столетия и дальнейшее ее развитие заключалось в постепенном изменении конструктивных соотношений, применении новых материалов и разработке шин для специальных условий эксплуатации.

Рассмотрим устройство основных типов автомобильных шин. Камерная пневматическая шина, разрез которой изображен на рис. 1, предназначена для монтажа на плоский или уширенный обод с коническими полками. Эта шина состоит из покрышки, представляющей собой главную часть шины, камеры, удерживающей воздух во внутренней полости шины, и ободной ленты, предохраняющей камеру от защемления между бортом покрышки и ободом и от повреждения неровностями обода.

Шина, предназначенная для эксплуатации на глубоком обode (рис. 2), ободной ленты не имеет.

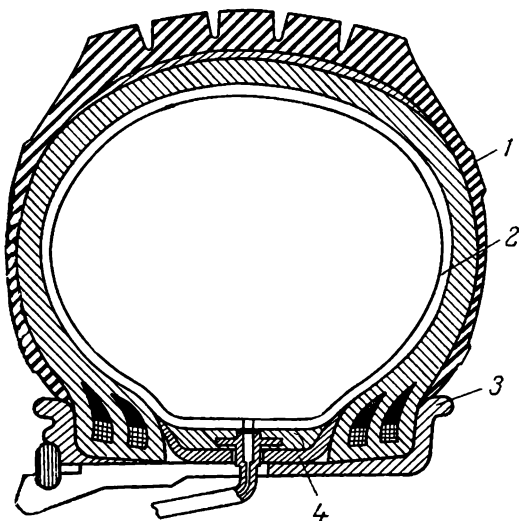


Рис. 1. Камерная пневматическая шина на уширенном обode с коническими полками (разрез):
1—покрышка; 2—камера; 3—обод; 4—ободная лента.

На рис. 3 представлен разрез покрышки грузовой шины. Каркас покрышки является основной силовой частью шины, воспринимающей нагрузку от внутреннего давления воздуха и нагрузку, обусловленную передачей на шину радиальной силы, тяговых, тормозных и боковых сил. Каркас состоит из нескольких слоев обрешиненного корда, собранных крест-накрест. Кордные слои каркаса закреплены на проволочных бортовых кольцах.

Корд представляет собой ткань, состоящую из прочных нитей основы и редких тонких нитей утка*. Такая структура ткани дает возможность иметь между нитями промежутки, заполненные резиной, что обеспечивает высокую гибкость и долговечность каркаса при эксплуатации шины.

Корд изготавливается из натурального (хлопок), искусственного (вискоза), или синтетического (капрон, нейлон) волокна. Применяется также металлокорд, представляющий собой нити, свитые из тонких проволок.

Число слоев корда в каркасе (обычно от 2 до 12, а иногда и более) зависит от размеров и конструкции шины, типа корда, величины внутреннего давления и условий эксплуатации. В многослойных грузовых покрышках между некоторыми слоями каркаса размещаются резиновые

прослойки (сквиджи), увеличивающие эластичность покрышки. Прослойки помещаются большей частью между наружными слоями каркаса (ближе к протектору), где имеют место наибольшие сдвиговые деформации. Такие прослойки применяют также и в шинах, работающих при больших радиальных деформациях, например в шинах с регулируемым внутренним давлением.

Поверх основных кордных слоев каркаса помещается брекер—несколько (обычно 2—4) слоев редкого корда, расположенных в беговой части шины и не закрепленных на бортовых кольцах. Под и над слоями брекера, а также между ними прокладываются резиновые прослойки. Брекер повышает сопротивление каркаса меха-

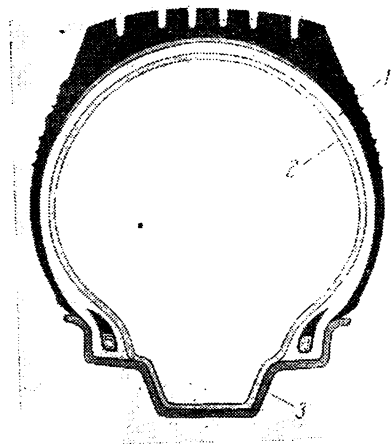


Рис. 2. Камерная пневматическая шина на глубоком ободе (разрез):

1—покрышка; 2—камера; 3—обод.

* Уток имеет чисто технологическое значение; он удерживает нити основы в процессе обрешинивания. В дальнейшем при формовании шины нити утка разрываются. Применяется также безуточный корд.

ническим повреждением при наезде шины на неровности дороги, а также увеличивает прочность связи протектора с каркасом. В некоторых случаях в легковых шинах применяют брекер, состоящий только из резины.

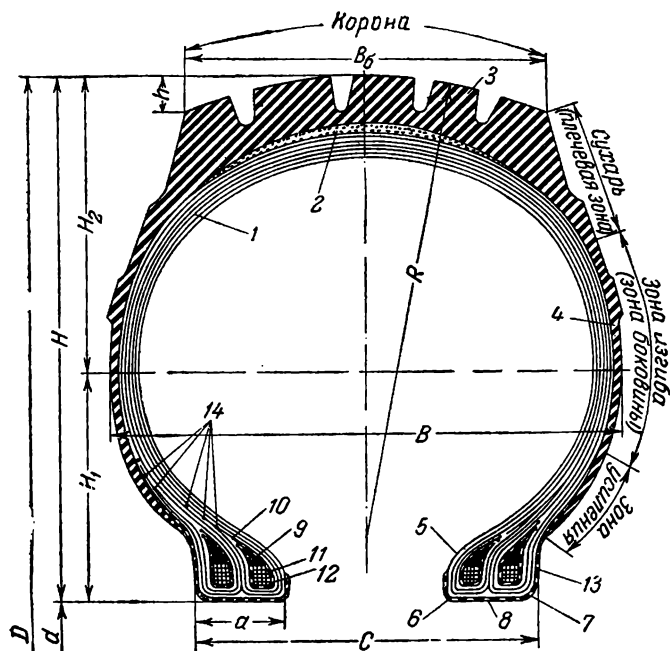


Рис. 3. Основные конструктивные элементы и размеры покрышки:

1—каркас; 2—подушечный слой (брекер); 3—протектор; 4—боковина; 5—борт; 6—носик борта; 7—пятка борта; 8—основание борта; 9—наполнительный шнур; 10—крыльцевая лента; 11—обертка; 12—бортовая проволока; 13—бортовая лента; 14—завороты слоев. H —высота профиля покрышки; H_1 —расстояние от основания борта покрышки до горизонтальной осевой линии профиля; H_2 —расстояние от горизонтальной осевой линии профиля покрышки до экватора; B —ширина профиля покрышки; $B_б$ —ширина беговой дорожки протектора по хорде; R —радиус кривизны протектора; C —ширина раствора бортов; D —наружный диаметр шины; d —внутренний (посадочный) диаметр шины; h —стрела дуги протектора; a —ширина борта.

В последние годы выпускаются шины, в брекере которых для повышения сопротивляемости беговой части проколам и пробоям применяется металлокорд.

Протектор покрышки представляет собой массивный покровный слой резины, расположенный по беговой части шины; канавки и выступы этого слоя образуют рисунок протектора. Протектор предохраняет каркас шины от механических повреждений, а его рисунок обеспечивает сцепление шины с дорогой. Большое количество разновидностей рисунков объясняется многообразием дорож-

ных условий и режимов эксплуатации шин. Резина протектора должна обладать высокой прочностью и хорошо сопротивляться механическим повреждениям и истиранию при качении шины по дороге.

Поскольку резина выступов протектора и резина подканавочного слоя работают в резко различных условиях, протектор иногда изготавливается из двух резин: верхний слой (беговая часть), работающий на истирание,—из жесткой износоустойчивой резины; нижний (подканавочный слой)—из эластичной резины.

На боковых стенках покрышки протектор переходит в более тонкие резиновые слои—боковины, прикрывающие боковые части каркаса и предохраняющие их от внешних воздействий. Боковины выполняются тонкими (до 3—4 мм), иногда на легковых шинах их изготавливают белыми или цветными.

Бортовые кольца изготавливаются из лент сплетенной стальной проволоки или из нескольких параллельных рядов одиночной стальной проволоки. Обрезиненное проволочное кольцо, обернутое прорезиненной тканью, образует крыло. Крыло обеспечивает жесткость и прочность бортов покрышки. При большом числе слоев корда в каркасе борт может иметь два и даже три крыла. В этом случае на наружную поверхность

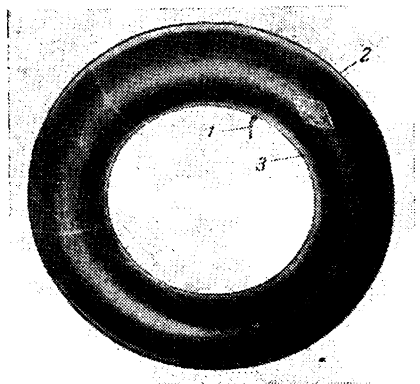


Рис. 4. Общий вид камеры:
1—вентиль; 2—беговая часть; 3—бандажная часть.

проволочных колец, по всей окружности, обычно накладывается наполнительный шнур из твердой резины, который закрепляется путем обертки бортового кольца тонкой текстильной ленточкой. Наполнительный шнур позволяет получить плавное очертание борта покрышки.

Для укрепления в борте покрышки при сборке крыло обертывается широкой прорезиненной лентой, называемой крыльевой лентой или флиппером.

Борты покрышки снаружи обернуты бортовой лентой (чефром)—прорезиненной тканью квадратного плетения—для защиты от истирания и повреждения о закраины и полки обода.

Камера (рис. 4) представляет собой замкнутую резиновую трубку и служит для удержания в шине сжатого воздуха. Накачивание камеры производится через закрепленный на ней вентиль с золотником, представляющим собой обратный клапан. Различают беговую часть камеры, соответствующую беговой части шины, и

бандажную часть, прилегающую к ободу. Толщина стенок камеры обычно одинакова по профилю (около 2—4 мм). В некоторых конструкциях увеличена толщина бандажной части камеры, в других—беговой. Размеры камеры несколько меньше размеров внутренней полости покрышки, поэтому в надутой шине в стенках камеры возникают только растягивающие, но не сжимающие усилия. Это делается во избежание складок при монтаже шины на обод.

Для автомобильных камер применяются вентили двух типов: резино-металлические—для камер легковых шин и металлические—для камер грузовых шин (рис. 5). Различие в конструкциях вен-

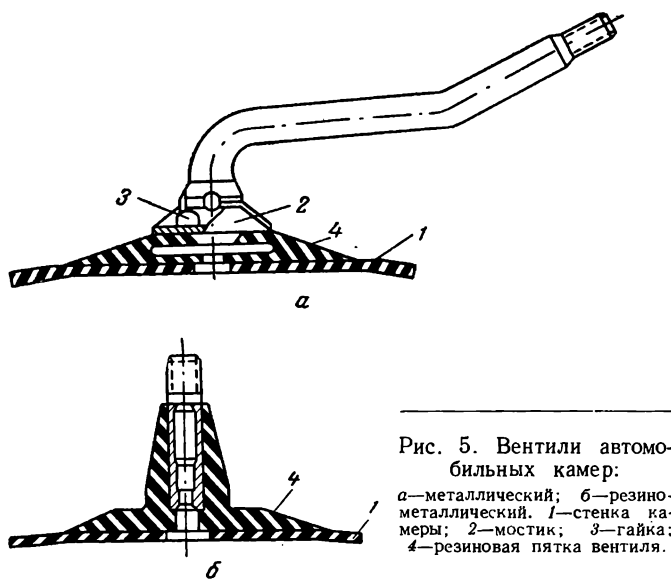


Рис. 5. Вентили автомобильных камер:

a—металлический; *б*—резино-металлический. 1—стенка камеры; 2—мостик; 3—гайка; 4—резиновая пятка вентилля.

тилей указанных типов заключается только в форме и размерах корпуса вентилля и в креплении вентилля на стенке камеры. Резино-металлический вентиль рассчитан на эксплуатацию шины на глубококом ободу, металлический—на эксплуатацию шины на ободах других типов.

С наружной стороны отверстие корпуса вентилля закрывается колпачком-ключом, который предохраняет канал корпуса от загрязнения, дополнительно препятствует выходу воздуха из камеры, а также служит ключом для ввинчивания и вывинчивания золотника. Корпус вентилля привулканизовывается к стенке камеры в процессе ее изготовления.

Вентили с металлическим корпусом имеют иногда дополнительные крепежные детали: мостик и гайку (рис. 5, *a*); применяются также металлические вентили без указанных деталей.

Бескамерные шины⁴⁻⁶ имеют перед камерными некоторые преимущества, заключающиеся в повышении безопасности езды, упрощении монтажно-демонтажных работ и путевого ремонта.

При проколе камерной шины камера в некоторых случаях разрывается на большом участке и давление в шине быстро падает, что сопряжено с опасностью аварии.

При проколе бескамерной шины отверстие не разрастается и внутреннее давление падает медленно, что предотвращает опасность аварии. Из монтажно-демонтажных работ устраняется операция выемки (или закладывания) камеры в покрышку, путевой ремонт производится без демонтажа шины.

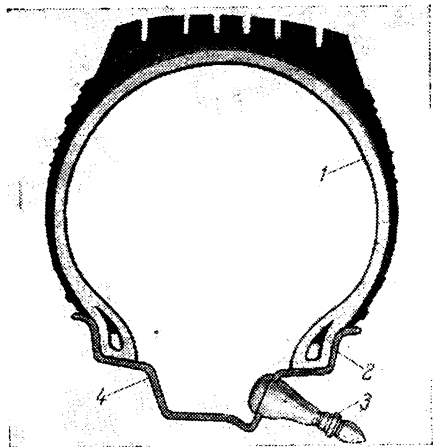


Рис. 6. Бескамерная шина на ободе (разрез):

1—внутренний герметизирующий слой; 2—уплотнительный бортовой слой; 3—вентиль; 4—обод.

Вместе с тем бескамерная шина работает в более напряженном режиме, так как она выполняет одновременно функции покрышки и камеры. Этим определяются конструктивные особенности бескамерных шин. Полость, заключенная между бескамерной шиной и ободом (рис. 6), должна быть герметичной, что достигается наличием герметизирующего слоя (обычно толщиной около 2 мм) и уплотнительного бортового слоя, специальной конструкцией бортов, герметизацией обода и места крепления вентиля на ободе. Для плотной посадки бортов иногда их поверхность, прилегающая к закраинам, делается рифленой,

но чаще герметизация обеспечивается увеличением до 2—4 мм диаметру натяга пятки борта.

Для обеспечения стабильности натяга и герметичности на весь период эксплуатации шины, бортовые проволоочные кольца изготавливаются из проволоки повышенной прочности. Для этой же цели борта бескамерных шин уплотняются оберткой из вискозного или капронового моноволокна.

В бескамерной шине воздух из внутренней полости диффундирует в тело шины, способствуя расслоению каркаса и отслоению протектора*. Во избежание этого герметизирующий слой

* В камерной шине воздух, диффундирующий через камеру, выходит наружу под бортами покрышки и в вентиляльное отверстие.

изготавливается из резин, обладающих минимальной газопроницаемостью: на бутылкаучуке, наирите и др. Бескамерные шины изготавливаются на вискозном или капроновом кордах, нити которых значительно менее газопроницаемы, чем нити хлопкового корда. Последний в бескамерных шинах не используется.

Накачка бескамерных шин производится через вентиль, укрепленный на ободе. Для бескамерных шин применяются металлические

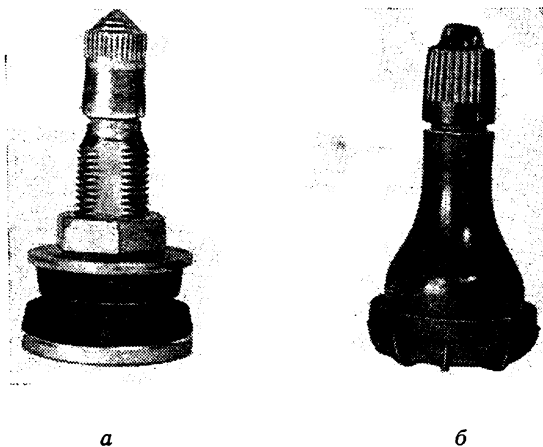


Рис. 7. Типы вентиля для бескамерных шин:
а—металлический; б—резино-металлический.

вентили с уплотнительными резиновыми шайбами или специальные резино-металлические вентили (рис. 7). Внутреннее устройство этих вентилях такое же, как у вентилях камерных шин.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

После того как в 20-х годах нашего века в основном была создана конструкция современной пневматической шины, ее усовершенствование в значительной мере сводилось к постепенному изменению ряда конструктивных соотношений между основными размерами шины (см. рис. 3).

Это изменение было неразрывно связано с усовершенствованием конструкции автомобилей, повышением их быстроходности и, соответственно, с повышением требований к комфортабельности и устойчивости движения.

Для обеспечения устойчивости автомобиля при высоких скоростях движения требовалось снижение его высоты, что достигалось за счет уменьшения наружного диаметра колес. Широкое строительство усовершенствованных дорог также позволило уменьшить высоту автомобиля над дорогой.

Требование повышенной амортизационной способности шин привело к необходимости снижения в них внутреннего давления и соответствующего увеличения размеров профиля шины.

Уменьшение наружного диаметра колеса при одновременном увеличении профиля шины могло быть достигнуто только за счет уменьшения диаметра ободов.

За последние тридцать лет стандартные диаметры ободов* для легковых шин уменьшились с 18—19 дюймов до 13—15 дюймов.

Для грузовых шин необходимость обеспечения достаточно высокой проходимости грузовых автомобилей не позволила уменьшать диаметры ободов в такой мере, как для легковых.

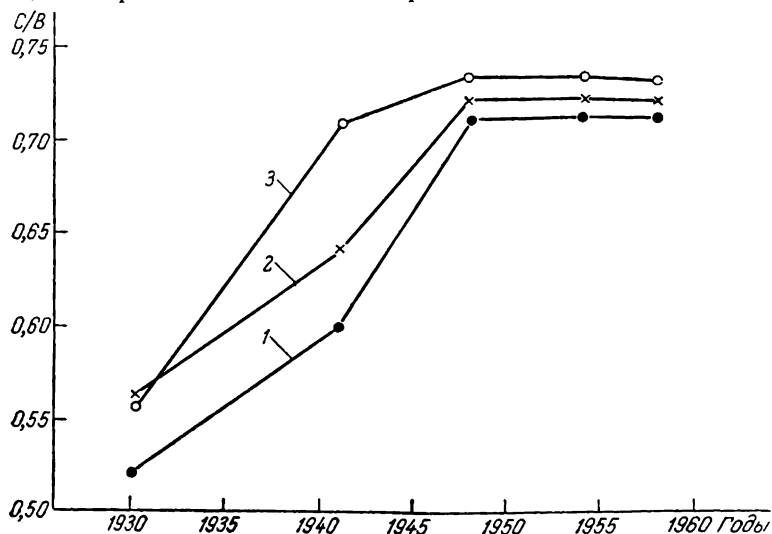


Рис. 8. Изменение отношения ширины обода к ширине профиля шины: 1—7,00—20; 2—7,50—20; 3—6,00—16.

В настоящее время стандартные обода для грузовых шин имеют в основном посадочный диаметр 20 дюймов и лишь для легких грузовиков грузоподъемностью до одной тонны используются обода таких же диаметров, как и для легковых автомобилей.

Требование обеспечения достаточной боковой устойчивости автомобиля при сниженном давлении в шинах, а также необходимость повышения работоспособности шин вызвали увеличение ширины ободов.

Тенденция уширения ободов представлена графически на рис. 8, где показано изменение соотношения ширины обода C к ширине профиля шины B по годам для трех размеров шин.

* В международной практике посадочные диаметры и ширины ободов выражаются в дюймах (1 дюйм=25,4 мм).

Современный этап развития автомобильных шин отличается значительной специализацией их в зависимости от назначения автомобилей. Вместе с тем, вводится ряд принципиальных усовершенствований в конструкцию пневматической шины и применяются новые материалы. Прежде различали два типа шин—шины высокого давления и шины низкого давления.

Шины низкого давления были рассчитаны на внутреннее давление в пределах $2—5 \text{ кгс/см}^2$. Шины высокого давления имели нормальное давление $5—7 \text{ кгс/см}^2$ и отличались от шин низкого давления меньшей деформацией при нормальной нагрузке, меньшей шириной беговой дорожки, увеличенным числом слоев корда в каркасе.



а

б

Рис. 9. Автомобили на обычных шинах и шинах сверхбаллон при движении по песку:

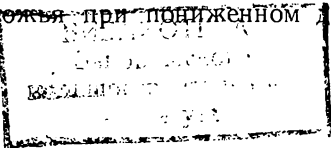
а—на шинах свсрхбаллон; б—на обычных шинах.

В настоящее время шины высокого давления для новых автомобилей более не применяются и имеется тенденция снижать внутреннее давление как в легковых, так и в грузовых шинах.

Специализация шин в зависимости от их назначения привела к появлению ряда новых типов шин.

К числу первых специальных конструкций шин могут быть отнесены разработанные в 1930 г. шины типа сверхбаллон с пониженным давлением воздуха и увеличенными габаритами. Эти шины (рис. 9) резко повышали проходимость автомобиля по мягким грунтам, но не нашли в дальнейшем распространения вследствие плохой управляемости автомобиля на этих шинах и низкой долговечности самих шин.

Вторая мировая война (1941 г.) дала толчок развитию шин с регулируемым давлением, позволяющих автомобилю двигаться в условиях бездорожья при пониженном давлении. Шины с регу-



лируемым давлением являются универсальными. При нормальном давлении автомобиль на шинах с регулируемым давлением может без ограничений передвигаться по твердой дороге. Эти шины отличаются от обычных грузовых шин повышенной проходимости меньшей толщиной каркаса и меньшей допустимой нагрузкой.

В 1950—1960 гг. появились специальные шины, резко повышающие проходимость автомобилей по мягкому грунту,—арочные шины (рис. 10), широкопрофильные шины (рис. 11, 12) и пневмокати (рис. 13).



Рис. 10. Арочная шина.



Рис. 11. Широкопрофильная шина с обычной беговой дорожкой.

Если для обычных шин отношение высоты профиля к его ширине $\frac{H}{B}$ лежит в пределах $0,9 \div 1,1$, то для широкопрофильных шин это отношение составляет $0,40—0,90$, для арочных $0,3—0,4$ для пневмоклатков $0,2—0,35$.

Широкопрофильные и арочные шины предназначены для замены четырех обычных шин на задней оси грузового автомобиля двумя, что приводит к улучшению проходимости автомобиля и к снижению веса шин.

Пневмокати используются на специальных транспортных машинах, рассчитанных для движения по бездорожью. Конструкции шин высокой проходимости детально рассмотрены в гл. V.

Со времени появления пневматической шины предпринимались попытки повысить безопасность движения автомобиля—предотвратить возможность аварии при внезапном проколе шины. изобре-

тения по повышению безопасности движения на пневматических шинах шли по направлениям создания шин, защищенных от прокола, и шин, конструкция которых предусматривает сохранение работоспособности после прокола. Однако, несмотря на многочисленные изобретения и патенты, практическое применение, в весьма ограниченных масштабах, нашли только «безопасные» шины с двухполостной камерой (рис. 14).

Дальнейшим развитием конструкции «безопасных» шин явились бескамерные шины. Они получили значительное распространение, особенно на легковых автомобилях. Так, в 1961 г. в СССР большая часть шин для легковых автомобилей выпускалась бескамерными.

Для дополнительной гарантии безопасности иногда используются бескамерные шины с диафрагмой. Конструкция такой шины изображена на рис. 15.

Новые возможности в конструировании автомобильных шин открыло применение металлокорда⁷. Впервые шины с каркасом из металлокорда были выпущены французской фирмой «Мишлен», которая в 1939 г. представила их на Парижскую выставку. Шины предназначались для грузовых автомобилей, работающих в тяжелых условиях, и были рассчитаны на вдвое большую нагрузку, чем обычные шины такого же размера. Стоимость шин была на 60% больше, чем обычных.

После второй мировой войны шины из металлокорда начали выпускать также ведущие фирмы США и Англии.



Рис. 12. Широкопрофильная шина с двойной беговой дорожкой.

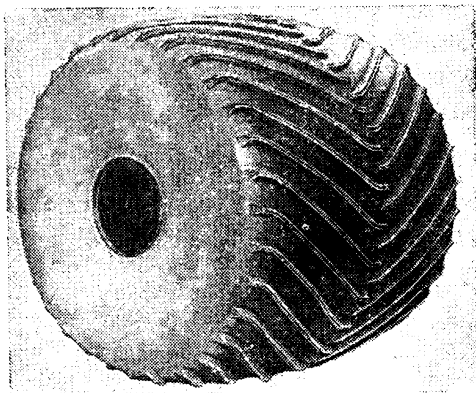


Рис. 13. Пневмокаток.

В связи с высокой прочностью металлокорда шины из него имеют малое число слоев. Так, тяжелые грузовые шины изготовляются 2- или 4-слойными (вместо 10—14 слоев текстильного корда). Брекер, обычно двухслойный, также изготовлен из обрешиненного металлокорда. Конструкция четырехслойной шины из металлокорда показана на рис. 16.

В металлокордных шинах, имеющих более двух слоев, между слоями каркаса проложены прослойки из мягкой резины, облегчающие сдвиг слоев при деформации шины. Нити соседних слоев расположены под таким же углом, как в обычных по-

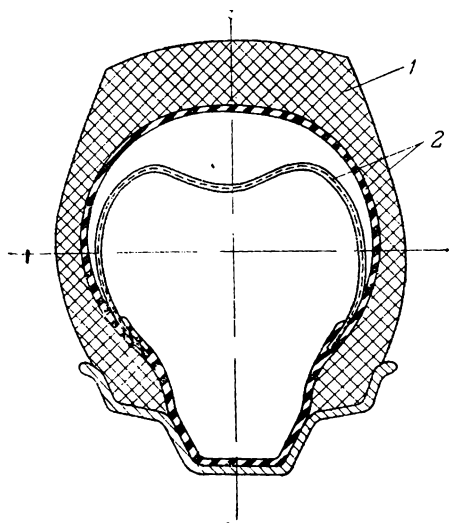


Рис. 14 Шина с двухполостной камерой:
1—покрышка; 2—двухполостная камера.

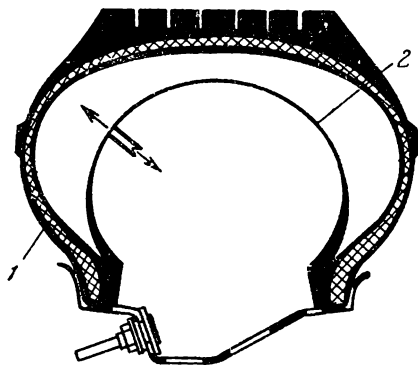


Рис. 15. Бескамерная шина с диафрагмой:
1—покрышка; 2—диафрагма.

крышках. Плотность расположения нитей в слое в 1,5—2 раза меньше, чем у шин с текстильным кордом.

Общий вес покрышки из металлокорда примерно равен весу обычной покрышки. При этом вес металлокорда несколько больше, чем вес текстильного корда, а вес резины меньше. Так, в покрышке 9,00—20 текстильный (вискозный) корд весит $7 \div 8$ кг, металлокорд—12,8 кг.

Покрышки, изготовленные на металлокорде, отличаются от обычных большей прочностью каркаса (примерно в 2 раза), давление в них принимается более высоким, чем в обычных шинах. Поэтому такие шины могут быть рекомендованы для больших нагрузок и повышенных скоростей при условии эксплуатации в хороших дорожных условиях.

Наряду с шинами, изготовленными полностью из металлокорда, выпускаются шины с текстильным каркасом и металлокордным брекером. Металлокордный брекер увеличивает сопротивление

шины пробоям и проколам. Кроме того, наличие жесткого брекера приводит к уменьшению проскальзывания шины в плоскости контакта с дорогой и к уменьшению износа.

Принципиально новым типом шин явились шины с меридиональным направлением нитей корда в каркасе⁸—шины типа Р. Такие шины были впервые выпущены фирмой «Мишлен» в 1951 г. под названием шин типа Х. Эти шины (рис. 17) имели текстильный каркас с меридиональным (от борта к борту) направлением нитей и брекер из трех слоев металлокорда. Первый слой металлокорда

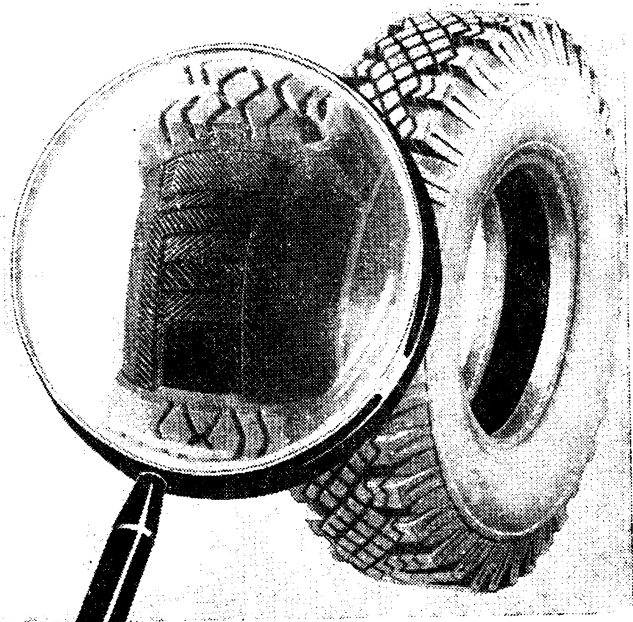


Рис. 16. Шина из металлокорда.

имел также меридиональное направление, а два остальных перекрещивались, составляя с меридианом углы порядка 70° .

В дальнейшем шины типа Р изготовлялись также полностью из металлокорда и полностью из текстильного корда. Шина такого типа из текстильного корда (фирмы «Пирелли») представлена на рис. 18.

Шины типа Р имеют существенные экономические преимущества перед обычными шинами, так как их каркас может иметь примерно вдвое меньшее число слоев.

Сочетание в шинах Р каркаса с меридиональным расположением нитей и брекерного кольца с направлением нитей, близким

к окружающему, обуславливает их своеобразные свойства. Так, эти шины имеют существенно большую, чем обычные, радиальную податливость и повышенную износостойкость.

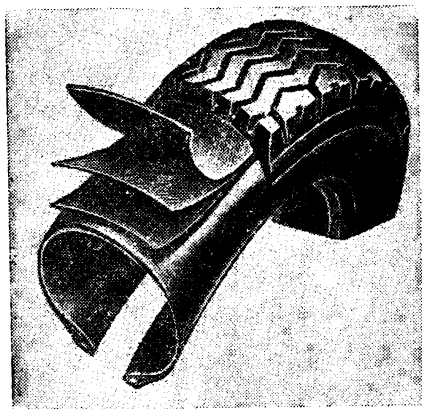


Рис. 17. Шина с меридиональным направлением нитей корда в каркасе и брекером из металлокорда.

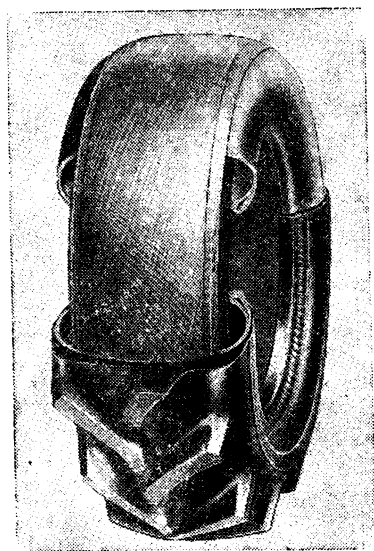


Рис. 18. Шина с меридиональным направлением нитей корда в каркасе, изготовленная полностью из текстильного корда

Конструкция и расчет шин типа Р подробно рассмотрены в гл. IV.

На базе конструкции шины типа Р начато производство шин со съемным протектором, так называемых шин типа РС. Для таких шин отпадает необходимость в восстановительном ремонте шины при износе протектора. Шина (рис. 19) состоит из отдельных частей: корпуса, имеющего текстильный каркас с меридиональным расположением кордных нитей и жестких протекторных колец, армированных металлокордом, расположенным в окружающем направлении.

Монтаж и демонтаж протекторных колец производится на шине со спущенным давлением. При надувке шины кольца плотно обжимают беговую часть корпуса.

Большой интерес представляют попытки создания бескаркасной шины.

Имеется ряд сообщений об успешных работах в этой области. Приводятся различные конструктивные варианты таких шин при полном или частичном упразднении каркаса. Отсутствие каркаса компенсируется увеличением толщины стенок и повышением модуля упругости резины. Некоторые варианты этой конструкции предусматривают наличие кордных усилительных вставок, расположенных в различных частях шин.

В сохраняющихся частях каркаса могут быть использованы

наилон, металлокорд и другие материалы. Брекер во всех случаях сохраняется.

Работы по созданию бескаркасных шин, по имеющимся сведениям, проводятся в ряде стран. Положительные результаты получены для велосипедных шин и шин для ручных тележек. Ведутся также работы по созданию бескаркасных тракторных и автомобильных шин.

В США и Европе появились первые бескаркасные шины из полиуретана с губчатым полиуретановым наполнителем.

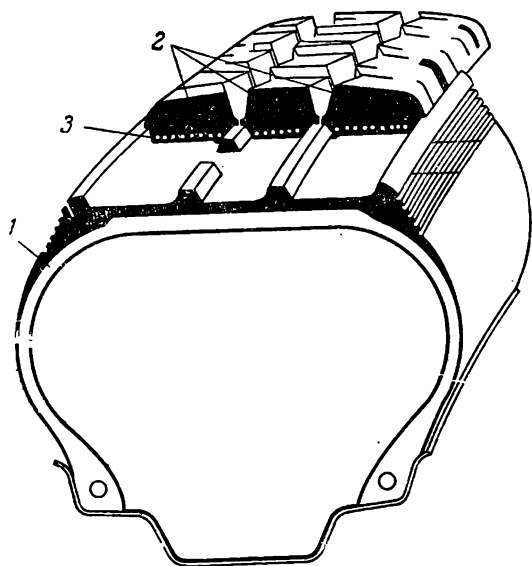


Рис. 19. Шина РС со съёмным протектором (разрез):

1—каркас с меридионально направленными нитями; 2—съёмные протекторные кольца; 3—металлокорд.

Все же в настоящее время возможность создания работоспособных автомобильных шин без кордного каркаса нельзя считать установленной.

КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН И ОБОДОВ

Автомобильные шины делятся на два основных типа: легковые и грузовые.

Легковые шины применяются на легковых автомобилях и на грузовых автомобилях малой грузоподъемности.

Грузовые шины применяются на грузовых автомобилях, автобусах, автоприцепах и на троллейбусах.

Легковые шины имеют малую слоистость (не более 6 слоев), применяются с глубоким ободом малого диаметра (16 дюймов и меньше), имеют низкое внутреннее давление (не более $2,5 \text{ кгс/см}^2$) и малую грузоподъемность.

В конструкциях современных легковых шин отразились стремления повысить комфортабельность автомобиля путем снижения внутреннего давления в шинах с одновременным снижением общей высоты автомобиля за счет уменьшения диаметра обода колеса.

В связи с этим получили большое распространение шины низкого давления (около $1,7 \text{ кгс/см}^2$) с уменьшенным диаметром обода (отечественные конструкции 5,60—15—для автомобиля «Москвич», 6,70—15—для автомобиля «Волга» и др.).

Грузовые шины, в отличие от легковых, имеют увеличенную слоистость, рассчитаны на обод увеличенного диаметра (обычно 20 дюймов), более высокое внутреннее давление (обычно от 3 до 5 кгс/см^2) и высокую грузоподъемность.

Каждая шина имеет обозначение, характеризующее ее основные размеры.

Существуют различные системы обозначений; при наиболее распространенной системе первой цифрой указывается округленная (номинальная) величина ширины профиля, а второй—посадочный диаметр обода (например, 6,70—15).

При обозначении по другой системе первая цифра показывает округленный наружный диаметр шины, а вторая округленную ширину профиля (например, 1140×700). В некоторых случаях обозначение состоит из трех цифр: первая—наружный диаметр, вторая—ширина профиля, третья—посадочный диаметр обода (например, 1200×500—508). Иногда шины специальных типов обозначаются буквами (например, P и PC). Обозначения шин наносятся на боковинах путем соответствующей гравировки пресс-форм.

Обычно каждая шина имеет порядковый (серийный) номер, который наносится на боковине, перед ним указывается сокращенно завод-изготовитель и дата выпуска шины.

Камеры и ободные ленты обозначаются в большинстве случаев так же, как и покрышки, для которых они предназначены.

По конструктивным и эксплуатационным характеристикам автомобильные шины разделяются на следующие виды:

- а) шины с дорожным рисунком протектора;
- б) шины с универсальным рисунком протектора;
- в) шины с рисунком протектора повышенной проходимости;
- г) шины для каменных карьеров, лесозаготовок и т. п.;
- д) шины с регулируемым внутренним давлением;
- е) арочные шины;
- ж) широкопрофильные шины (универсальные, экономические, высокой проходимости);

- э) пневмокатки;
- и) шины для строительно-дорожных машин;
- к) спортивные и гоночные шины.

Шины с дорожным рисунком протектора (рис. 20) предназначены для эксплуатации на дорогах с твердым покрытием. Эти шины обладают хорошей износостойкостью, но не имеют достаточного сцепления с дорогой, покрытой грязью или снегом или с мягким грунтом. Рисунок протектора шин этого типа состоит обычно из неглубоких продольных зигзагообразных ребер и канавок.



Рис. 20. Шина с дорожным рисунком протектора.



Рис. 21. Шина с универсальным рисунком протектора.

Шины с универсальным рисунком протектора (рис. 21) предназначены для эксплуатации в различных дорожных условиях (на дорогах с твердым покрытием и на грунтовых). Эти шины обладают достаточной износостойкостью на твердых дорогах и имеют хорошее сцепление с дорогой, покрытой грязью или снегом.

Рисунок протектора шин этого типа обычно представляет собой комбинацию продольных ребер или шашек в средней части беговой дорожки и крупных массивных выступов, разделенных широкими впадинами по краю беговой дорожки. Широкие впадины обладают хорошей самоочищаемостью от грязи и снега.

Шины с рисунком протектора повышенной проходимости (рис. 22) предназначены для эксплуатации по труднопроходимым

грунтовыми дорогам и дорогам, покрытым грязью или снегом. Эти шины не могут обеспечить значительного повышения проходимости автомобиля на мягком грунте, так как внутреннее давление в них такое же, как и в шинах, работающих на дорогах с твердым покрытием. На дорогах с твердым покрытием долговременная эксплуатация шин с рисунком протектора повышенной проходимости недопустима, так как при этом шины быстро выйдут из строя вследствие износа протектора. Рисунок шин повышенной проходимости имеет широкие канавки, направленные поперек беговой дорожки или наклонно к оси беговой дорожки, и крупные массивные выступы—грунтозацепы.



Рис. 22. Шина с рисунком протектора повышенной проходимости.

Шины для каменных карьеров и лесозаготовок по рисунку несколько сходны с шинами повышенной проходимости, но имеют в отличие от последних более узкие впадины и широкие выступы. Эти шины рассчитаны на эксплуатацию в условиях неусовершенствованных дорог, покрытых острой щебенкой, крупными кусками горной породы и т. д.

Массивный рисунок протектора, его увеличенная толщина, а также усиленный каркас обеспечивают высокое сопротивление такой шины механическим повреждениям и износу.

Остальные типы шин подробно рассмотрены в соответствующих разделах.

ТИПЫ ОБОДОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЕС

Ободом автомобильного колеса называется часть колеса, на котором крепится пневматическая шина. Конструкция обода определяется главным образом конструкцией пневматической шины. Различают следующие типы ободов:

1. Для обычных шин:
 - а) плоские;
 - б) глубокие;
 - в) уширенные с коническими полками.

2. Для шин специальных конструкций:
 - а) для шин с регулируемым давлением воздуха;
 - б) для арочных шин;
 - в) для широкопрофильных шин;
 - г) для пневмокотков.

Плоские обода (рис. 23, а) широко применяются для грузовых шин. Обод имеет съемный фланец и цилиндрическую посадочную

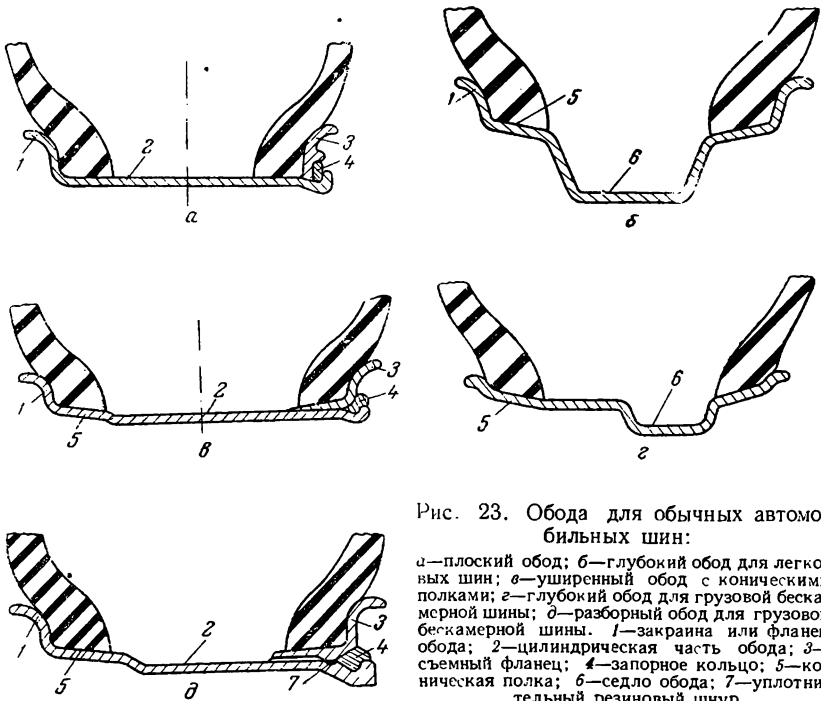


Рис. 23. Обода для обычных автомобильных шин:

а—плоский обод; б—глубокий обод для легковых шин; в—уширенный обод с коническими полками; г—глубокий обод для грузовой бескамерной шины; д—разборный обод для грузовой бескамерной шины. 1—закраина или фланец обода; 2—цилиндрическая часть обода; 3—съемный фланец; 4—запорное кольцо; 5—коническая полка; 6—седло обода; 7—уплотнительный резиновый шнур.

часть. Обода этого типа устарели; они не обеспечивают достаточно надежной посадки шины на ободе. Глубокий обод (рис. 23, б) представляет собой одно целое, т. е. не имеет отъемных частей. Для возможности монтажа шины обод имеет седло. Глубокие обода применяются главным образом для легковых шин; обода такого типа применяются также для грузовых бескамерных шин.

Уширенные обода с коническими полками для грузовых шин (рис. 23, в) получают распространение взамен плоских ободов; по конструкции они отличаются от плоских увеличенной шириной и наличием конических полок (обычно под углом 5°), обеспечивающих плотную посадку бортов покрышки на ободе. Уширенный обод обеспечивает повышение надежности работы, долговечности и грузоподъемности шины.

Обода для бескамерных шин отличаются герметичностью, что достигается уплотнением разъемных частей и отсутствием отверстий в теле обода.

Глубокий обод колес грузовых автомобилей для бескамерных шин (рис. 23, з) имеет большой наклон полка (15°) и меньшую высоту закраины по сравнению с глубоким ободом колес легковых автомобилей. Такой обод применяется для шин с профилем шириной до 11" (279 мм) включительно. Для бескамерных шин большего размера ввиду трудности монтажа на цельный глубокий обод применяют разборные обода (рис. 23, д), которые герметизируются в месте прилегания отъемной закраины к ободу с помощью резинового кольцевого шнура.

Для шин с регулируемым внутренним давлением применяются разъемные обода с распорными кольцами (рис. 24, а). Распорное кольцо устанавливается между бортами покрышки: борта шины зажимаются между внутренним распорным кольцом и закраинами обода. Такая система установки бортов для шин с регулируемым давлением воздуха обеспечивает надежное крепление их при сниженном давлении воздуха.

Обода для арочных шин (рис. 24, б) имеют различные конструкции, но во всех видах их предусмотрено зажатие бортов между закраинами обода и распорным кольцом или соответствующими деталями, заменяющими распорное кольцо.

Главным отличием ободов для арочных шин является их увеличенная ширина—более чем в два раза по сравнению с шириной ободов для обычных шин.

Обода для широкопрофильных шин (рис. 24, в) имеют конические полки (наклон под углом 5°) и такие же закраины, как и для обычных шин. Ширина у этих ободов больше, чем у обычных, в связи с большим профилем шины, а также увеличенным соотношением ширины обода к ширине профиля шины. Для широкопрофильных шин с регулируемым давлением применяются обода с распорным кольцом.

Для пневмокатков применяются колеса и обода (рис. 24, г), схожие по схеме крепления бортов шины с применяемыми для арочных шин. Характерное отличие их—малый посадочный диаметр.

Обозначение ободов. Обода, как правило, обозначаются по их ширине и форме закраины, например: 4,00Е; 6,00Т. В обозначении число показывает ширину обода в дюймах; буква означает тип закраины обода. В обозначениях уширенных ободов с коническими полками буквы не применяют, имеется в виду, что определенной ширине обода соответствует определенный тип закраины. Примеры обозначения уширенных ободов: 6,0; 8,5.

Обода для шин с регулируемым давлением обозначаются цифрой и двумя буквами. Например, 10,0РГ—цифра означает шири-

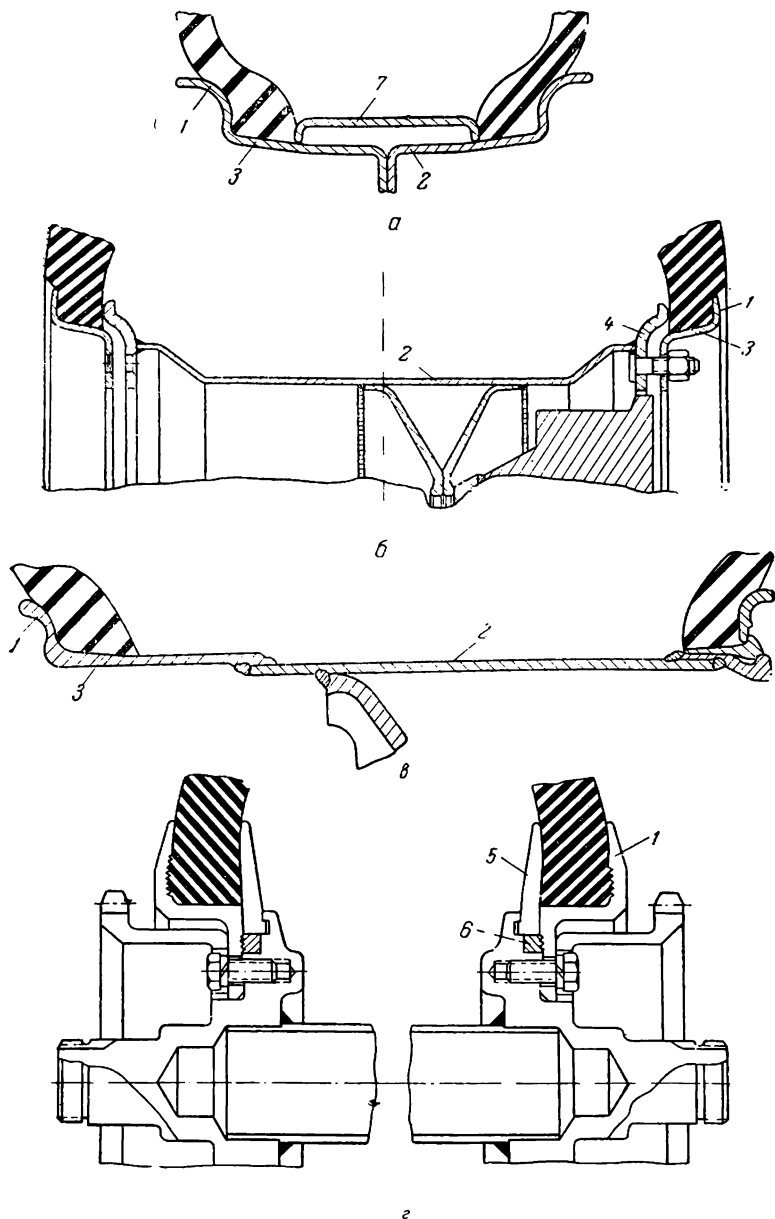


Рис. 24. Обода для специальных автомобильных шин:

а—разъемный обод с распорным кольцом; *б*—обод для арочных шин; *в*—обод для широкопрофильных шин; *г*—колесо с ободом для пневмокачков. *1*—закрайна, или фланец, обода; *2*—цилиндрическая часть обода; *3*—коническая, или наклонная, голка; *4*—внутренняя часть обода; *5*—разрезное кольцо; *6*—уплотнительное резиновое кольцо; *7*—распорное кольцо.

ну обода, буквы: Р—регулируемое давление, Г—тип закраины.

Обода для арочных шин обозначаются двумя цифрами 1000×600 , аналогично обозначению шин. Первая цифра показывает диаметр шины, вторая—ширину профиля шины; ширина обода обычно принимается на 3—3,5% меньше ширины профиля шины.

Обода для широкопрофильных универсальных шин обозначаются двумя цифрами (например, 380—508). Первая цифра—ширина обода, вторая—посадочный диаметр, выраженные в миллиметрах.

Обода для пневмокатков обозначаются тремя цифрами (в дюймах): $24 \times 36 \times 6$, аналогично обозначению шин. Первая цифра—диаметр пневмокатка, вторая—ширина профиля (ширина обода примерно на 5% меньше ширины профиля), третья—посадочный диаметр пневмокатка.

КРАТКИЙ ОЧЕРК ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Настоящий раздел имеет целью дать лишь общее представление об основных процессах шинного производства в той мере, в какой это необходимо для понимания особенностей конструкции шины.

Подробное изложение технологии производства шин и описание соответствующего оборудования приведено в ряде специальных руководств⁹⁻¹¹.

Наиболее сложным является производство покрышек камерных шин или мало от него отличающееся производство бескамерных шин.

Изготовление камер и ободных лент представляет собой самостоятельные и сравнительно несложные процессы.

Рассмотрим кратко процесс производства покрышек, который состоит в основном из подготовки каучуков, приготовления резиновых смесей, обрешивания корда, заготовки деталей покрышки, сборки сырой покрышки, ее формования и вулканизации.

Подготовительные процессы

Подготовка каучука производится для придания ему свойств, облегчающих проведение дальнейших технологических процессов. С этой целью натуральный каучук подвергают пластикации, при которой происходит частичная механическая и окислительная деструкция молекул каучука. В результате получают продукт с более высокой пластичностью и однородностью.

Пластикация на вальцах заключается в пропускании каучука между валками, имеющими малый зазор (3—8 мм) и вращающимися навстречу друг другу с разной окружной скоростью. Интенсивное и многократное перемешивание каучука в зазоре, связан-

ное с разогревом его до 40—50 °С, приводит к пластикации. Пластикация на вальцах мало производительна и требует большого расхода электроэнергии.

В настоящее время находят применение более производительные способы пластикации каучука: в резиносмесителях и специальных пластикаторах (червячных прессах).

Синтетические каучуки—мягкий бутадиен-стирольный и бутылкаучук пластицируются так же, как и натуральный. Жесткий бутадиен-стирольный каучук предварительно подвергается термической пластикации горячим воздухом в термопластикаторах (котлах) или горячей механической пластикации в аппаратах непрерывного действия в присутствии противостарителей.

В настоящее время заводы синтетического каучука начинают выпускать преимущественно мягкий бутадиен-стирольный каучук, не требующий термопластикации.

Каучук того или иного типа составляет основу *резиновой смеси* или *«сырой» резины*.

В состав резиновой смеси, кроме каучука, входят наполнители, вулканизирующие вещества, ускорители и активаторы вулканизации, мягчители, противостарители. Иногда в резиновых смесях (преимущественно используемых для малоответственных деталей шины) наряду с каучуком используется и регенерат старой резины.

Наполнители, главным из которых является сажа различных типов, применяются для получения резины с необходимыми свойствами.

Сажа повышает прочность резины, ее жесткость, сопротивление истиранию. Особенно велика роль сажи при изготовлении резин на основе синтетических каучуков. В зависимости от типа примененной сажи и ее количества получают резины с различными свойствами.

Для изготовления белой и цветных резин, используемых для декоративных боковин легковых шин, вместо сажи применяются специальные белые наполнители (так называемые «белые сажи»).

Вулканизирующим веществом в подавляющем большинстве шинных резин является сера. В процессе вулканизации молекулы серы соединяются с линейными молекулами каучука, образуя как бы мостики между ними. В результате получается вулканизованная резина, т. е. упругий материал, который в отличие от сырой резины при обычных температурах практически не способен к пластическому течению.

Ускорители вулканизации, входящие в резиновую смесь в небольших количествах, служат для ускорения процесса вулканизации и улучшения физико-механических свойств вулканизованной резины.

В современной практике пользуются почти исключительно органическими ускорителями (альтакс, каптакс, тиурам, суль-

фенамид БТ и др.). Для повышения активности ускорителей иногда в резиновые смеси вводят специальные вещества—*активаторы вулканизации*, которые позволяют сократить продолжительность процесса вулканизации; к ним относятся окиси цинка и магния.

Мягчители служат главным образом для улучшения технологических свойств сырой резины. Они влияют также и на физико-механические свойства вулканизированной резины. В качестве мягчителей применяются обычно жидкие или твердые нефтяные продукты.

Противостарители вводятся в состав резины с целью защиты ее от старения и для повышения выносливости ее при многократных деформациях.

Изменение свойств резины при старении и при многократных деформациях связано в основном с окислением каучука кислородом воздуха и озоном. Поэтому в качестве противостарителей используются специальные химические вещества (антиоксиданты), связывающие проникающий в резину кислород.

Наиболее активными противостарителями являются неозон Д и сантофлекс А.

Смешение—технологический процесс, целью которого является полное и равномерное распределение в каучуке всех материалов, входящих в состав сырой резины. От качества процесса смешения, от степени диспергирования всех ингредиентов смеси в каучуке в значительной степени зависят физико-механические показатели и однородность резины.

Рис. 25. Схема резиносмесителя (поперечный разрез):

- 1—ротор; 2—загрузочное отверстие; 3—пневмоцилиндр верхнего затвора; 4—разгрузочное отверстие; 5—нижний затвор

Смешение выполняется в резиносмесителях. Схема резиносмесителя одного из типов показана на рис. 25. Вращающиеся навстречу друг другу роторы 1 обеспечивают интенсивное перемешивание смеси. Каучук и другие ингредиенты подаются в смеситель через загрузочное отверстие 2, открытие и закрытие которого осуществляется пневматическим цилиндром 3. Удаление готовой смеси производится через разгрузочное отверстие 4 в нижней части смесителя, закрываемое затвором 5.

В рубашку резиносмесителя подается охлаждающая вода, что позволяет поддерживать необходимый температурный режим смешения.

Работа резиносмесителя и всех связанных с ним устройств для навески и загрузки ингредиентов производится автоматически.

В большинстве случаев в резиносмесителе изготавливается смесь без серы. Сера вводится в смесь позднее на листовальных вальцах. Такой порядок смешения имеет целью предупредить частичную подвулканизацию резины в процессе смешения.

В последние годы получил распространение двухстадийный способ смешения; в этом случае сначала изготавливается вспомогательная смесь без серы и ускорителей, а затем при второй стадии смешения во вспомогательную смесь вводятся ускорители и сера.

При этом способе смешения улучшается качество резиновых смесей вследствие лучшего перемешивания.

Процесс смешения в резиносмесителе обычно контролируется по записям температур смеси во время смешения. Каждая резиновая смесь имеет свою характерную кривую подъема температуры во время смешения.

Качество резиновых смесей контролируется по физико-механическим показателям образцов от каждой закладки (беча). Обычно для каждой закладки, выгруженной из смесителя, определяется пластичность и плотность. Кроме того, определяется модуль* и твердость изготовленных из данной резины вулканизованных образцов. В последнее время начинает получать распространение так называемый «экспресс-анализ». При этом способе образцы смеси вулканизируются в маленьком прессе при температуре 180—250 °С в течение 1—2 мин, после чего определяется кольцевой модуль.

Готовые резиновые смеси используются в дальнейшем для изготовления резиновых деталей шины (протектор, боковины, резиновые прослойки) и для обрезаживания корда.

Обрезаживание корда

При обрезаживании должна быть достигнута высокая прочность связи корда с обкладочной резиной. Обязательной является предварительная пропитка корда специальными латексами и смолами, повышающими прочность связи между кордом и резиной.

Изготовление обрезаженного корда ведется на поточной линии с автоматическим управлением, причем процесс пропитки, сушки и обрезаживания происходит непрерывно.

Схема такой линии представлена на рис. 26. Корд—суровье из рулона проходит в ванну б с пропиточным составом. Излишки

* Обычно определяется так называемый кольцевой модуль путем растяжения вулканизованного образца, имеющего форму кольца. Испытание производится согласно ГОСТ 412—53.

пропиточного состава обжимаются вальками 8. Затем корд поступает в сушильную камеру 9, где, проходя по решетчатым барабанам, высушивается. Высушенный корд попадает в каландр 15

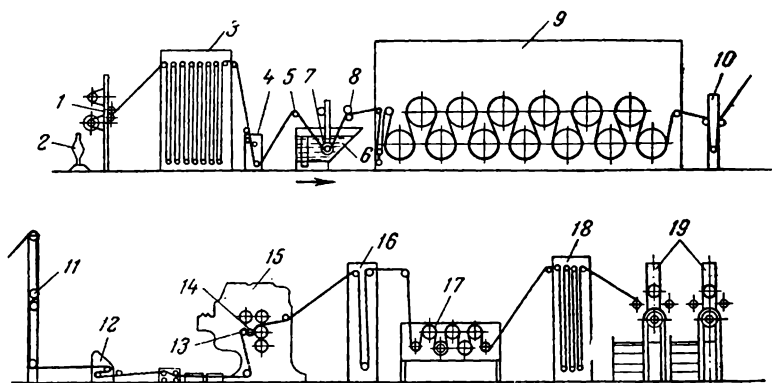


Рис. 26. Схема поточной линии для обрешивания корда:

1—раскаточная стойка; 2—швейная машина для сшивания кордных полотен; 3—компенсатор; 4—вакуум-очиститель; 5—ширительный валик; 6—пропиточная ванна; 7—направляющий валик; 8—отжимные вальки; 9—сушильная камера; 10—компенсатор; 11—центрирующее приспособление; 12—ширительное устройство; 13—направляющие ролики; 14—прессующий валик; 15—каландр; 16—компенсатор; 17—охлаждающие барабаны; 18—компенсатор; 19—закаточное устройство.

для обрешивания, а после обрешивания закатывается в рулоны на закаточном устройстве 19. При этом, во избежание слипания, корд закатывается с тканевой прокладкой.

Схема обкладки корда на каландре (четырёхвалковый Z-образный) приведена на рис. 27.

Кордное полотно 5 поступает в зазор между вальками 2—3 каландра, где обкладывается с двух сторон тонкими слоями резиновой смеси. Так как в зазоре резиновая смесь находится под высоким давлением, она плотно заполняет пространство между нитями корда.

Резиновая смесь 8 непрерывно и равномерно подается на каландр к зазорам с подогревательных вальцов.

Кордный каландр является весьма производительным агрегатом; скорость движения корда

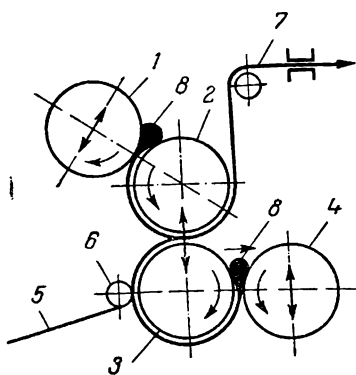


Рис. 27. Схема двухсторонней обкладки корда резиновой смесью на четырехвалковом Z-образном каландре:

1, 2, 3, 4—вальцы каландра; 5—кордное полотно (корд суровье); 6—прижимной валик; 7—обрешиваемое кордное полотно; 8—резиновая смесь.

в нем достигает 90 м/мин. В связи с этим большое значение имеет непрерывное измерение и автоматическое регулирование толщины обрезиненного корда. В последнее время для непрерывного измерения толщины корда начали применять приборы, использующие радиоактивные излучения.

Наряду с уточным кордом в шинном производстве применяется безуточный корд. Безуточный корд имеет существенные преимущества перед уточным, обеспечивая более равномерное расположение нитей в готовой шине. Металлокорд используется только как безуточный.

Схема обрезинивания безуточного корда такая же, как и уточного, но корд—суровые поступает на агрегат не с рулона, а со шпулярика.

Шпулярик—специальное устройство, где каждая нить намотана на отдельную катушку, снабженную натяжным устройством. Равномерное расположение нитей корда и получение заданного шага обеспечивается направляющими гребенками.

Ткани квадратного переплетения, применяющиеся в производстве шин (обертка крыла, обертка борта), промазываются резиной (фрикционируются).

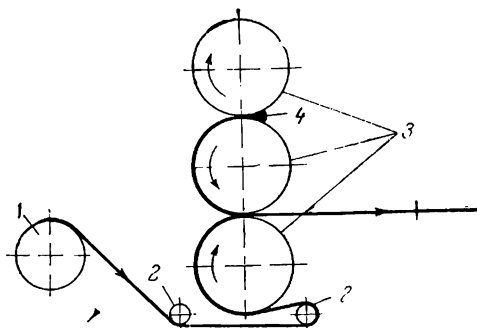


Рис. 28. Схема промазки ткани на трехвалковом каландре:

1—рулон; 2—направляющие ролики; 3—валы каландра; 4—резиновая смесь.

Схема промазки ткани на трехвалковом каландре приведена на рис. 28. Ткань с рулона 1 через направляющие ролики 2 поступает в зазор между нижним и средним валками каландра. Резиновая смесь подается в зазор между средним и верхним валком и охватывает средний валок. Средний валок вращается со скоростью большей, чем нижний, и резина втирается в пространство между нитями ткани, промазывая ее с одной стороны. Для промазки ткани с другой стороны ее вторично пропускают в зазор между валками каландра. Затем промазанную с двух сторон ткань закатывают в прокладку.

Раскрой корда и наложение резиновых прослоек

Для изготовления кордных слоев шины полотно обрезиненного корда должно быть нарезано на полосы заданной ширины под определенным углом α , называемым углом закроя. Схема раскроя корда показана на рис. 29, а.

Полученные таким образом косяки корда в виде параллелограммов стыкуются затем вдоль нигей, образуя непрерывные полосы (рис. 29, б).

Раскрой рулонов корда производится на диагонально-режательных машинах (горизонтальных или вертикальных). На этих

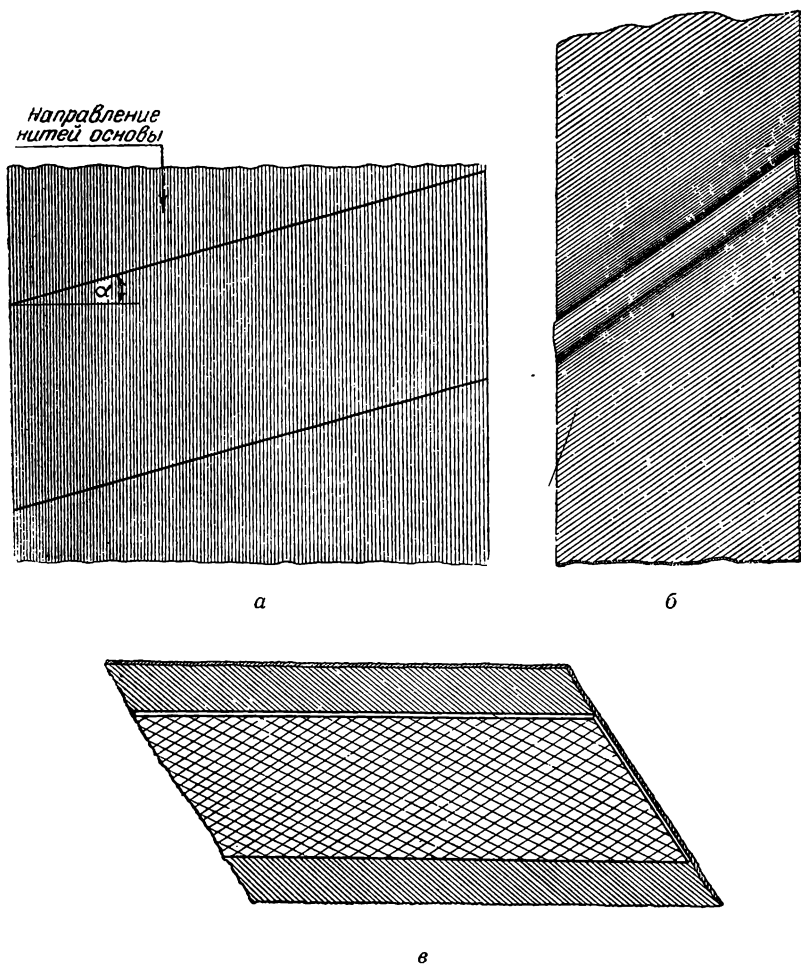


Рис. 29. Схема раскроя кордного полотна:

а—разрезка полотна на косяки; б—косяки, состыкованные в непрерывную ленту; в—кордная лента с наложенной резиновой прослойкой.

машинах кордное полотно движется по транспортеру с периодическими остановками. Во время остановок производится резка полотна вращающимся ножом, движущимся под необходимым углом. С транспортера диагонально-режательной машины косяки

корда перекладываются на стыковочный транспортер, где они стыкуются. Затем полученная кордная полоса закатывается в прокладку.

В случае необходимости на кордные полосы накладываются резиновые прослойки—сквиджи (см. рис. 29, в).

На рис. 30 дана схема выпуска резиновой прослойки на трехвалковом каландре и наложения ее на раскроенный обрезиненный корд. Смесь подается в зазор между валками 1 и 2 каландра, оттуда проходит через зазор между валками 2 и 3. На нижнем валке устанавливаются ножи, при помощи которых срезаются резиновые полосы нужной ширины. Резиновая полоса поступает

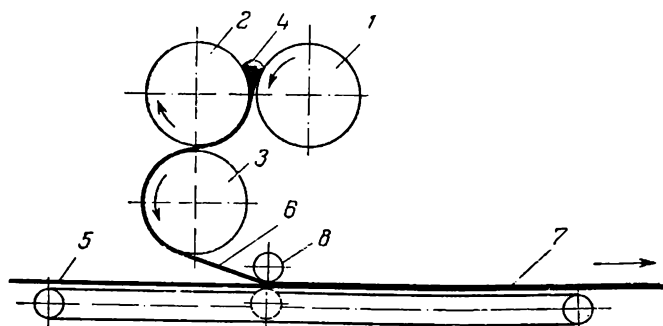


Рис. 30. Схема выпуска резиновой прослойки на трехвалковом каландре и наложения ее на обрезиненный корд:

1, 2, 3—валки каландра; 4—резиновая смесь; 5—обрезиненный корд; 6—резиновая прослойка; 7—обрезиненный корд с наложенной резиновой прослойкой; 8—дублирующий валик

на транспортер, где производится наложение резины на обрезиненный корд с помощью дублирующих валиков. Корд с наложенными резиновыми прослойками (рис. 29, в) поступает на транспортер, где с прокладочным полотном закатывается в рулоны.

Ткани квадратного переплетения (чефер, бязь), используемые для обертки крыла и обертки борга, раскраиваются, как и корд, на диагонально-резательных машинах на широкие полосы, затем каждая полоса разрезается на узкие полоски—ленточки. Для раскроя широких полос ткани на узкие применяются продольно-резательные машины. Ткани квадратного переплетения закраиваются обычно под углом 45° .

Изготовление протекторов

Заготовка протектора шины (сырой протектор) представляет собой полосу сырой резины фигурного сечения (рис. 31).

Протекторы, как правило, изготавливаются методом шприцевания (выдавливания) на червячных прессах.

Схема червячного пресса (шприц-машины) представлена на рис. 32.

Сырая резина, поступающая в пресс с вальцов, подается шнеком (червяком) 1 пресса в головку 2, где продавливается через отверстие в профилирующей планке 3 в виде непрерывной ленты, имеющей сечение сырого протектора.

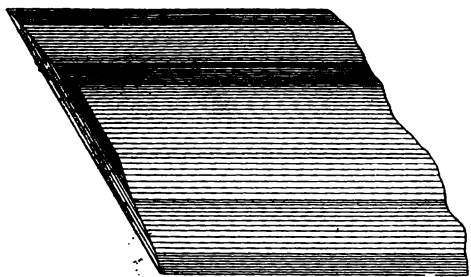


Рис. 31. Профиль сырого протектора.

На шинных заводах все операции по изготовлению протекторов выполняются обычно на едином протекторном агрегате. На таком агрегате, представляющем собой ряд последовательно установленных машин, связанных транспортерами, производится

шприцевание протектора, охлаждение его (водой), обдув воздухом, шероховка и промазка клеем (в случае протекторов из син-

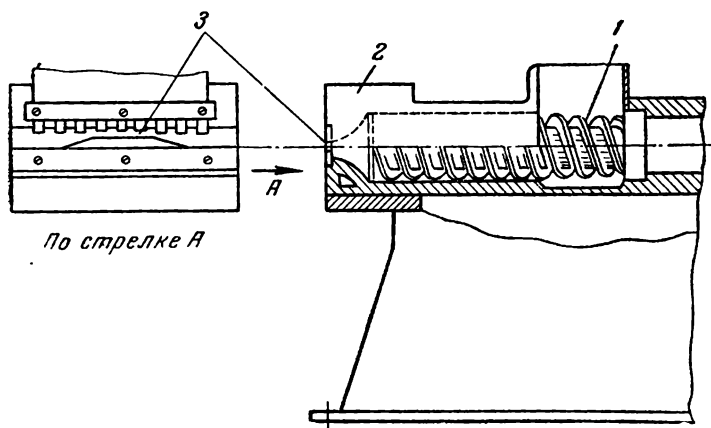


Рис. 32. Схема шприц-машины:
1—шнек; 2—головка; 3—профилирующая планка.

тетического каучука), просушка, нарезка заготовок необходимой длины.

В некоторых случаях протекторы изготавливаются из двух резин: подканавочный слой и боковины—из сравнительно мягкой резины и боковая часть—из более жесткой износо стойкой резины. Двухслойные протекторы выпускаются на протекторных агрега-

тах с двумя червячными прессами. На одном из прессов выпускается нижняя часть протектора (подканавочный слой и боковины), на другом—беговая дорожка. Дублирование осуществляется специальным валиком на транспортере. Получают распространение также протекторные агрегаты с двумя расположенными друг против друга червячными прессами, работающими с общей Т-образной головкой. В этом случае дублирование резин происходит в самом процессе шприцевания.

Изготовление крыльев

Крыло (рис. 33) состоит из проволочного кольца 1, наполнительного шнура 2, обертки крыла 3 и крыльевой ленты 4.

Проволочные кольца изготавливаются из плетенки или одиночной проволоки*.

Проволочная плетенка представляет собой ряд параллельных проволок, скрепленных между собой утком из более тонкой проволоки.

На кольцеделательном агрегате плетенка обрезинивается, проходя через головку специального червячного пресса, и затем кольцо наматывается на специальном шаблоне, причем концы плетенки закрепляются тканевой ленточкой. На кольцо накладывается наполнительный шнур круглого сечения из сырой резины и крыло обертывается широкой полосой обрезиненной ткани. В настоящее время проволочная плетенка используется мало и большей частью применяется одиночная проволока. Изготовление крыльев из одиночной проволоки отличается тем, что на червячном прессе обрезинивается не плетенка, а ряд проволок, идущих каждая со своей бобины. Намотанное из одиночной проволоки кольцо для большей плотности обматывается по спирали узкой лентой из прорезиненной ткани. Обмотка выполняется на специальных оберточных станках.

В некоторых случаях для увеличения прочности кольца в процессе сборки шины кольцо из обрезиненной одиночной проволоки предварительно подвулканизовываются.

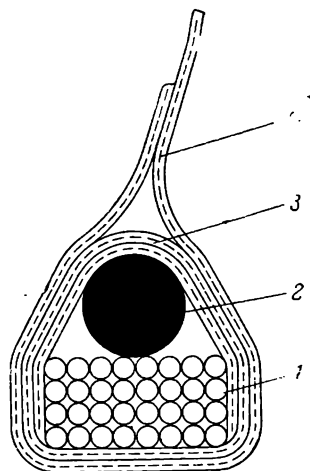


Рис. 33. Крыло покрышки (сырое):

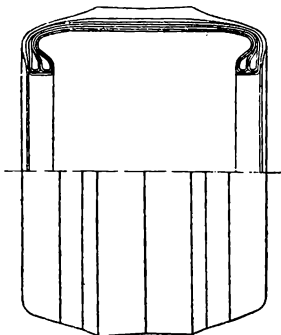
1—стальное проволочное кольцо; 2—наполнительный резиновый шнур; 3—обертка крыла; 4—крыльевая лента.

* В большинстве конструкций применяется стальная проволока диаметром 1 мм, имеющая временное сопротивление 140—200 кгс/мм².

Сборка покрывшек и бескамерных шин*

Сборка покрывшек состоит в склеивании их из заранее заготовленных деталей на специальных сборочных станках.

Основной частью сборочного станка является барабан, на котором, собственно, и собирается покрывшка. Барабан может иметь различный профиль, что определяет способ сборки.



В настоящее время применяются полуплоский и полудорновый способы сборки покрывшек. Различие профилей ясно из рис. 34 и 35.

При полудорновом способе покрывшки собираются из браслетов.

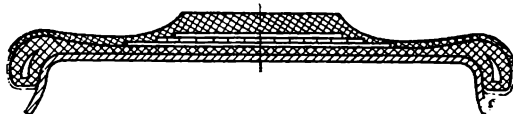


Рис. 34. Сырая покрывшка, собранная полудорновым способом.

Рис. 35. Схематический поперечный разрез полуплоского барабана с собранной на нем покрывшкой.

Браслет представляет собой кольцо из нескольких (2, 4 или 6) слоев корда, собранных так, что нити смежных слоев перекрещиваются. Браслеты изготавливаются на специальных браслетных станках, оснащенных эластичными прикаточными валиками, под давлением которых достигается плотное слипание слоев.

Изготовленные браслеты надеваются на складной барабан, установленный на сборочном станке (рис. 36). При этом, так как длина браслета на 5—10% меньше длины окружности барабана, браслет по цилиндрической поверхности плотно облегает поверхность барабана.

В бортовой части браслет обжимается по поверхности барабана прикатчиками.

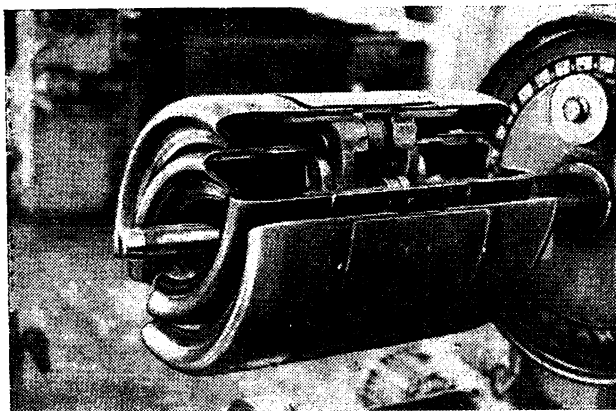
После надевания на барабан одного или двух (в зависимости от конструкции покрывшки) браслетов** ставятся крылья с бортовыми кольцами, центруемые при помощи специальных шаблонов. Края браслетов заворачиваются на крыло и прикатываются.

* Сборка бескамерных шин производится так же, как и сборка покрывшек. Отличие составляют лишь операции, связанные с применением герметизирующего и уплотнительного бортового слоев. Эти операции выполняются с особой тщательностью, чтобы исключить появление дефектов, которые могут вызвать проникание воздуха из внутренней полости шины в ее тело и привести тем самым к расслоению каркаса или отслоению протектора в эксплуатации.

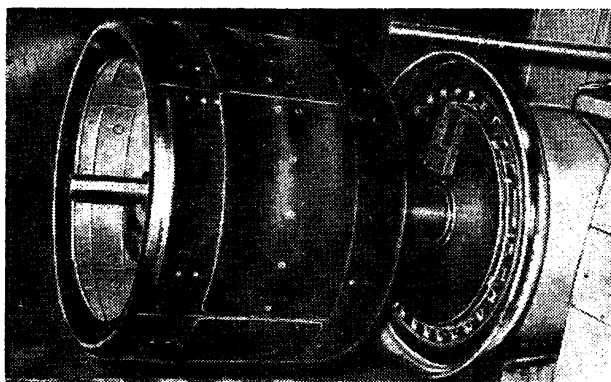
** В ряде случаев первый браслет одевается на еще сложенный барабан и занимает свое место при раскрытии барабана.

Затем в соответствии с конструкцией покрывки надеваются остальные браслеты и устанавливается второе крыло (для шин с двумя крыльями в борте).

Операции по надеванию браслетов и завороту их краев чередуются с прикаткой.



a



б

Рис. 36. Полудорновый барабан:
a—сложенный; *б*—развернутый.

По окончании сборки каркаса на барабан, обычно также в виде браслетов, надеваются брекеры и протекторы, а также накладываются полосы чефера для обертки борта.

Затем барабан складывается, покрывка снимается с него и края обертки борта подворачиваются внутрь борта.

Полуплоская сборка отличается от полудорновой другим профилем сборочного барабана, а также тем, что на барабан накладываются отдельные слои корда, а не предварительно изготовленные браслеты.

Послойная сборка покрышек на полуплоском барабане является более производительной, чем сборка полудорновым методом.

Так как при формировании покрышки, изготовленной полуплоским методом, борт ее поворачивается относительно проволоочного кольца, этот метод сборки может быть использован только для покрышек с одним проволоочным кольцом в борте, т. е. для легких и легких грузовых покрышек.

Формование и вулканизация покрышек

Перед формированием покрышки покрываются смазкой—«окрашиваются». Наружную поверхность покрывают водной эмульсией

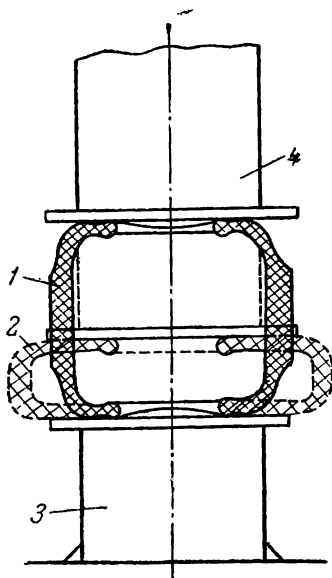


Рис. 37. Схема формирования покрышки на воздушном форматоре:
1—сырая покрышка до формирования;
2—сырая покрышка после формирования;
3—стол форматора; 4—цилиндр с плунжером.

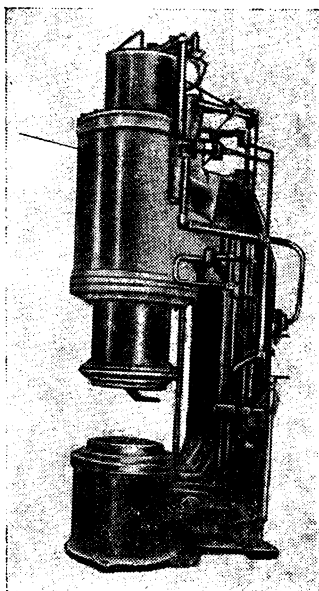


Рис. 38. Общий вид универсального воздушного форматора.

силикона, облегчающей течение резины в прессформе и предотвращающей ее пригорание к прессформе. Внутренняя поверхность покрывается специальной смазкой (со слюдой и другими

материалами), облегчающей расправление внутри покрышки варочной камеры и предохраняющей ее от приваривания.

Собранные покрышки подвергаются формованию. Схема формования покрышки на воздушном форматоре представлена на рис. 37.

Покрышка устанавливается на столе форматора, после чего верхний его плунжер опускается до соприкосновения с бортом покрышки. Во внутреннюю полость покрышки подается давление ($1,2-2,5 \text{ кгс/см}^2$) и одновременно, благодаря опусканию верхнего плунжера, борта покрышки сближаются. При этом покрышка принимает торообразную форму, а внутрь ее закладывается варочная камера, которая была заранее помещена в отверстие верхнего плунжера форматора. Общий вид воздушного форматора представлен на рис. 38.

Сырые покрышки с вложенными внутрь варочными камерами подаются к вулканизационным прессам.

Для вулканизации покрышка помещается в обогреваемую паром вулканизационную форму, а внутрь варочной камеры подается перегретая вода при давлении $20-25 \text{ кгс/см}^2$ и температуре $165-185^\circ\text{C}$. Давлением воды в варочной камере покрышка плотно прижимается к форме, причем на ней отпрессовывается рисунок протектора.

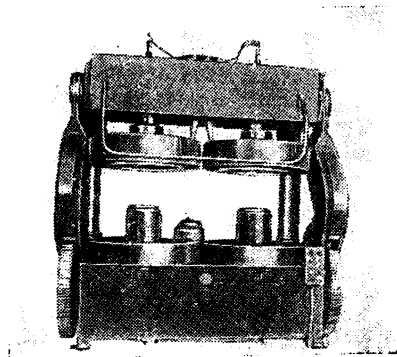


Рис. 39 Общий вид форматора-вулканизатора с надетыми на диафрагмы сырыми покрышками.

Вулканизация производится в прессах автоклавного типа или в индивидуальных вулканизаторах. В силу ряда преимуществ (улучшение качества шин, повышение производительности труда и облегчение его условий) индивидуальные вулканизаторы получили большое распространение.

В последние годы для одновременного формования и вулканизации покрышек используются форматоры-вулканизаторы (рис. 39).

Принцип работы форматора-вулканизатора ясен из схем, приведенных на рис. 40. На рис. 40, а показано положение сырой покрышки и диафрагмы в открытом прессе. При опускании верхней половины формы (рис. 40, б) диафрагма одновременно поднимается и расправляется в покрышке; подъем диафрагмы происходит благодаря напуску в нее пара. Под давлением, создаваемым внутри диафрагмы, покрышка формуется (рис. 40, в) и прижимается к форме. Для вулканизации теплоноситель (пар или пе-

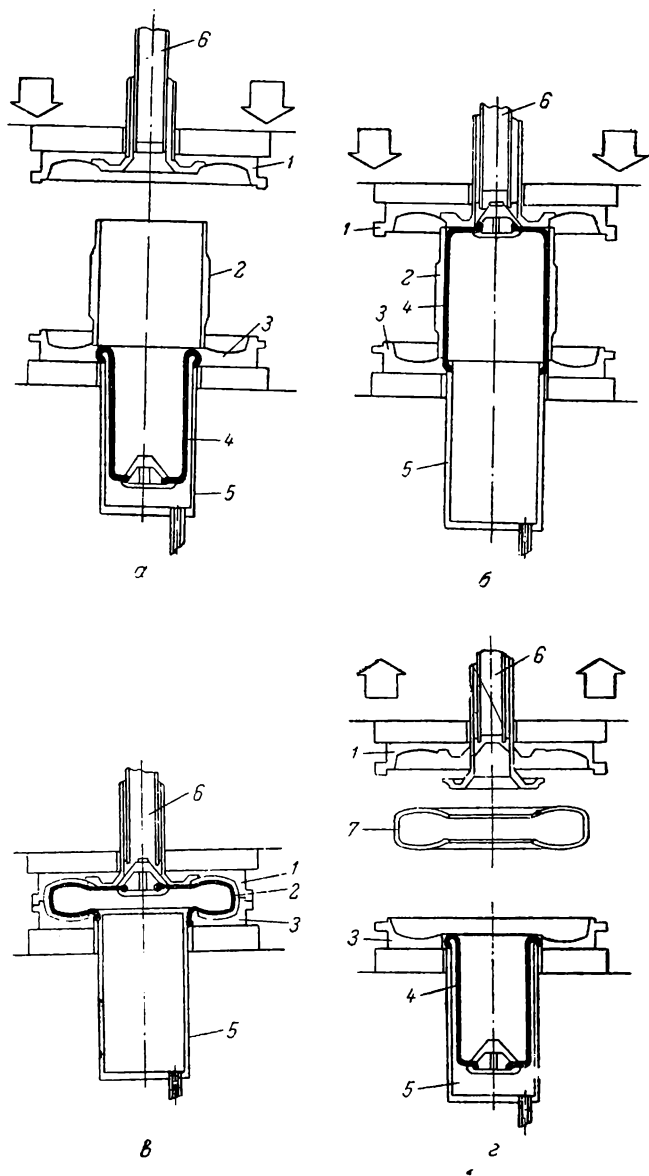


Рис. 40. Принцип работы форматора-вулканизатора:

а—положение сырой покрывки и диафрагмы в открытом прессе; б—положение диафрагмы в момент опускания верхней половины формы; в—положение покрывки и диафрагмы в закрытом прессе; г—положение прессы после вулканизации. 1—верхняя половина формы; 2—сырая покрывка; 3—нижняя половина формы; 4—диафрагма; 5—цилиндр; 6—шток; 7—вулканизованная покрывка.

регретая вода) подается внутрь диафрагмы. По окончании вулканизации диафрагма занимает свое первоначальное положение (см. рис. 40, а) и пресс открывается. Покрышка с верхней половиной формы движется вверх, пока пресс не откроется полностью, после чего бортовое кольцо верхней половины формы выталкивает готовую покрышку (рис. 40, з).

Процесс работы форматоров-вулканизаторов может быть полностью автоматизирован.

После вулканизации покрышек и выемки варочных камер обрезаются выпрессовки и покрышки воскируются, т. е. покрываются специальными составами, предохраняющими от озонного и светового старения.

Последними технологическими операциями являются разборка покрышек и, в случае необходимости, их балансировка.

Изготовление камер и ободных лент

Заготовки для камер выпускаются путем шприцевания на червячном прессе. На рис. 41 показано устройство головки червячного пресса, служащей для выпуска рукава. Изменяя положение дорна 1 относительно калибрового кольца 2, можно менять толщину стенок получаемого рукава. Дорн имеет устройство, служащее для пропудривания тальком внутренней полости рукава во избежание его слипания.

Изготовление камер проводится на поточных линиях. С червячного пресса рукав попадает на транспортер, где он нарезается на заготовки необходимой длины, на которых устанавливаются вентили. Концы заготовки стыкуются на специальных станках. В некоторых случаях для увеличения прочности стыка на него накладываемся кордная ленточка. Поддутые воздухом заготовки камер помещаются в формы и вулканизируются в индивидуальных вулканизаторах.

Заготовки ободных лент также шприцуются. После нарезки и стыковки ободные ленты вулканизируются в специальных формах.

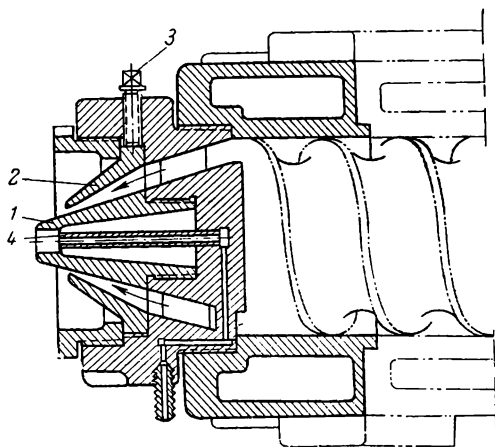


Рис. 41. Головка червячного пресса (для выпуска камерного рукава):

1—дорн; 2—калибровое кольцо; 3—регулирующий винт; 4—канал для продувания внутренней полости камеры.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

РЕЗИНО-КОРДНЫЕ СЕТЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ СВОЙСТВА

Геометрия нитей корда в каркасе шины

Каркас пневматической шины, составляющий ее силовую основу, образуется рядом перекрещивающихся слоев обрезаемого корда (см. гл. I). В процессе изготовления шины нити корда каж-

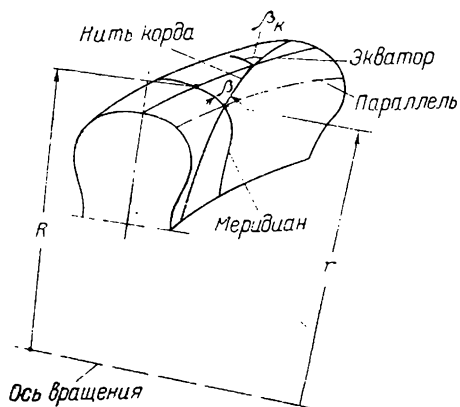


Рис. 42. Положение кордной нити на поверхности слоя в шине.

дого слоя занимают вполне определенное положение на поверхности вращения, которую представляет собой слой. Это положение характеризуется углом β , составляемым нитью с меридианом поверхности в каждой точке (рис. 42). Угол β , который мы будем называть углом нити корда, изменяется от точки к точке по меридиану, но одинаков во всех точках, лежащих на одном параллельном круге.

Рассмотрим изменение угла нити корда с меридианом в процессе изготовления шины. Будем предполагать, что первоначально слои корда собраны в виде браслетов. (При полудорновой сборке браслеты изготавливаются на специальных станках, а при полуплоской—непосредственно на сборочном барабане.) Предположим также, что перекрещивающиеся слои корда в браслете не смещаются друг относительно друга при формовании шины и что нити корда по всей своей длине вытягиваются равномерно в $(1 + \delta_1)$ раз*.

* Коэффициент δ_1 носит название условной вытяжки нити.

Из гипотезы об отсутствии взаимного смещения слоев следует, ввиду полной осевой симметрии, что любая точка браслета, лежащая в некоторой радиальной плоскости, остается в этой плоскости и после формования и вулканизации шины. Таким образом центральный угол между радиальными плоскостями, проходящими через две какие-либо точки браслета не изменяется в процессе изготовления шины.

Рассмотрим элементарный участок нити $AB=dl$ (рис. 43, а), который в браслете отвечает центральному углу $d\varphi$ и, следовательно, имеет проекцию на окружное направление равную $r_6 d\varphi$, где r_6 —радиус браслета.

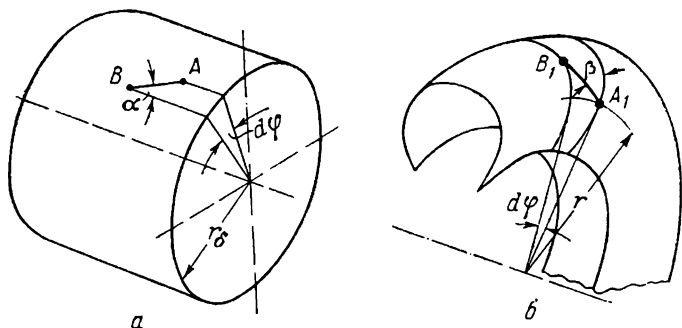


Рис. 43. К определению геометрии нитей корда в шине:
а—браслет; б—сформованная покрышка.

В шине (рис. 43, б) этот же участок нити будет иметь длину

$$A_1B_1 = dl_1 = dl(1 + \delta_1) \quad (1)$$

Поскольку концы участка и в готовой шине лежат в радиальных плоскостях, составляющих угол $d\varphi$, проекция участка на окружное направление будет теперь равна $rd\varphi$, где r —расстояние участка от оси вращения в готовой шине.

Так как синус угла наклона нити к меридиану равен отношению проекции элементарного участка нити на окружное направление к длине самого участка, то можно написать

$$\sin \alpha = \frac{r_6 d\varphi}{dl} \quad (2)$$

и аналогично

$$\sin \beta = \frac{rd\varphi}{dl_1} = \frac{rd\varphi}{dl(1 + \delta_1)} \quad (3)$$

где α и β —углы, составляемые нитью с меридианом в браслете и в готовой шине.

Деля почленно уравнение (3) на уравнение (2), получим:

$$\sin \beta = \frac{r}{r_6(1 + \delta_1)} \sin \alpha \quad (4)$$

Формула (4) является основной в рассматриваемой теории. Используя эту формулу, можно получить уравнения для определения частоты нитей корда в шине, ширины раздвига сборочного

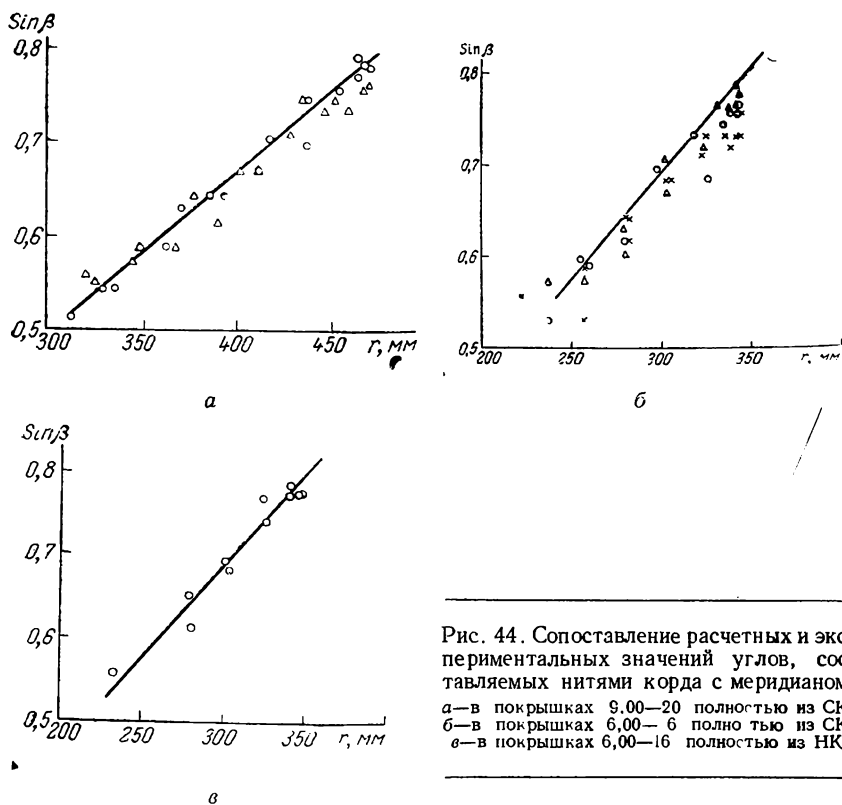


Рис. 44. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений углов, составляемых нитями корда с меридианом:
 а—в покрышках 9,00—20 полностью из СК;
 б—в покрышках 6,00—6 полностью из СК;
 в—в покрышках 6,00—16 полностью из НК.

барабана и т. п. Справедливость формулы (4) может быть легко проверена экспериментально.

Заметим, что для данного слоя корда величины r_6 , δ_1 и α являются постоянными. Таким образом, из формулы (4) следует, что синус угла наклона нити корда к меридиану в готовой шине прямо пропорционален расстоянию рассматриваемой точки от оси вращения.

Построив по данным измерений графики зависимости синуса угла наклона нити корда от величины r для ряда шин, можно установить, насколько справедлива формула (4).

На рис. 44, *a* приведены такие графики для двух покрышек 9,00—20, а на рис. 44, *б*—для трех покрышек 6,00—16 с каркасом из синтетического каучука. График на рис. 44, *в* построен для покрышек 6,00—16 с каркасом из натурального каучука.

Как видно из графиков, полученные измерением точки с удовлетворительной точностью ложатся на расчетные прямые, соответствующие уравнению (4). Принятые при построении этих прямых значения условной вытяжки нити δ_1 получены при анализе спецификаций этих шин.

Таким образом, эксперимент подтверждает гипотезы, положенные в основу вывода формулы (4).

Формула (4) показывает, что угол нити корда в любой точке шины данного профиля полностью определяется значением этого угла по экватору (короне) шины (см. рис. 42).

Действительно, находя из этой формулы угол нити корда по экватору β_k , получим:

$$\sin \beta_k = \frac{R}{r_6(1 + \delta_1)} \sin \alpha$$

где R —радиус слоя по экватору.

Комбинируя полученную зависимость с формулой (4), найдем синус угла в любой точке шины:

$$\sin \beta = \frac{r}{R} \sin \beta_k \quad (5)$$

Отсюда следует, что угол нити корда по экватору полностью определяет всю геометрию нитей в шине и является поэтому одной из важнейших ее конструктивных характеристик.

Одно и то же расположение нитей в готовой шине может быть получено при различных значениях угла нити корда в браслете α , если величина

$$\frac{R}{r_6(1 + \delta_1)} \sin \alpha$$

сохраняет постоянное значение.

Таким образом, выбор угла в браслете α и радиуса браслета r_6 при постоянном отношении $\frac{\sin \alpha}{r_6}$ определяется не конструктивными, а технологическими соображениями. То же относится и к коэффициенту условной вытяжки нити δ_1 , величина которого устанавливается таким образом, чтобы нить корда при вулканизации была натянута и не имела извилин. Выбор слишком большого значения коэффициента δ_1 приводит обычно к вытягиванию слоев корда из заворотов («уводы»), но возможно и некоторое снижение прочности перетянутых нитей. Слишком малые δ_1 приводят к появлению извилин в нити в готовой шине. Осуществление

нужной условной вытяжки нити достигается благодаря учету ее при установлении ширины раздвига сборочного барабана (см. гл. III, стр. 213).

Наряду с формулами (4) и (5), определяющими наклон нитей корда к меридиану в каждой точке, важное значение имеют соотношения, позволяющие рассчитать частоту нитей корда в слое и длину нитей.

Частотой нитей i называется количество нитей в слое на единицу длины перпендикулярного к нитям сечения. Обычно частота выражается в нитях на сантиметр или в нитях на дециметр. Ча-

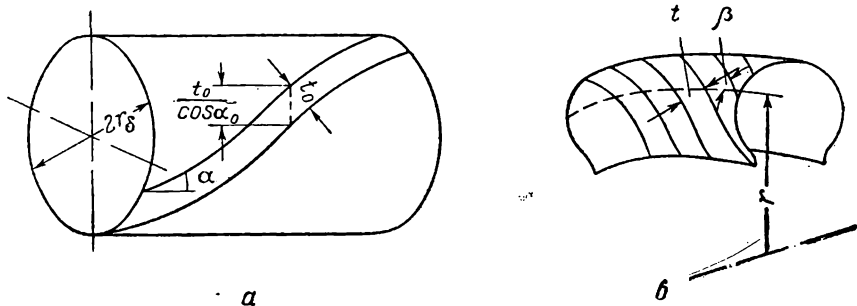


Рис. 45. К определению частоты нитей корда в шине:
а—браслет; б—шина.

стота i связана с шагом нитей t , т. е. с расстоянием между осями двух соседних нитей зависимостью

$$i = \frac{1}{t}$$

Связь между частотой обрешиненного корда в браслете и частотой его в готовой шине можно найти следующим образом.

Полное число нитей в слое корда (рис. 45, а) равно

$$\nu = 2\pi r_0 \frac{\cos \alpha}{t_0}$$

где $2\pi r_0$ —длина окружности браслета, t_0 —шаг нитей в браслете. Это количество нитей в слое сохраняется, очевидно, и в готовой шине.

Рассмотрим сечение слоя в шине окружностью радиуса r (рис. 45, б) и выразим полное количество нитей ν через их шаг t :

$$\nu = 2\pi r \frac{\cos \beta}{t}$$

где β —угол нити корда с меридианом в данной точке профиля.

Сравнивая полученные выражения γ , найдем связь между шагом нитей в браслете и в шине

$$t = t_0 \frac{r}{r_6} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \quad (6)$$

Так как частота нитей обратна шагу, то соответственно

$$i = i_0 \frac{r_6}{r} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \quad (7)$$

где i —частота нитей в шине;
 i_0 —частота нитей в браслете.

В частности, для частоты нитей корда по экватору шины получаем:

$$i_k = i_0 \frac{r_6}{R} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta_k}$$

Исключая из полученной формулы и формулы (7) величины, относящиеся к браслету, получим:

$$i = i_k \frac{R}{r} \cdot \frac{\cos \beta_k}{\cos \beta}$$

Подставляя согласно формуле (5) $\frac{r}{R} = \frac{\sin \beta}{\sin \beta_k}$, найдем

$$i = i_k \frac{\sin \beta_k}{\sin \beta} \cdot \frac{\cos \beta_k}{\cos \beta} = i_k \frac{\sin 2\beta_k}{\sin 2\beta} \quad (8)$$

Так как для данной шины частота корда по экватору i_k и угол β_k постоянны, то из формулы (8) следует, что частота нитей корда в произвольной точке профиля шины обратно пропорциональна синусу удвоенного угла наклона нити к меридиану в той же точке. Величина $\sin 2\beta$ достигает максимума, равного единице, при $\beta = 45^\circ$. Таким образом, наименьшая частота нитей соответствует той точке каркаса, в которой угол наклона нитей равен 45° ; в обычных шинах β_k больше 45° и частота увеличивается как по направлению к борту шины, так и по направлению к ее экватору. Примерный график изменения частоты корда по профилю шины представлен на рис. 46.

Определение длины нити корда в шине, необходимое при расчете спецификации (см. гл. III, стр. 211) и при расчете конфигурации надутой шины, производится без затруднений, если известен профиль шины и угол нити корда по экватору.

Как видно из рис. 47, длина dl элементарного участка нити в шине связана с проекцией ds этого участка на профильное (меридиональное) сечение зависимостью:

$$ds = dl \cos \beta$$

Следовательно, длина нити l , соответствующая произвольному участку s профиля шины, определяется интегралом:

$$l = \int_s \frac{ds}{\cos \beta} \quad (9)$$

Интеграл (9), как правило, не сводится к табулированным функциям и вычисляется методом численного интегрирования.

Один из применяемых способов¹² состоит в том, что длина профиля делится на небольшие участки Δs так, чтобы в пределах

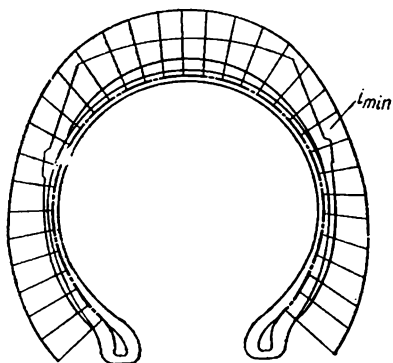


Рис. 46. Изменение частоты нитей по профилю шины.

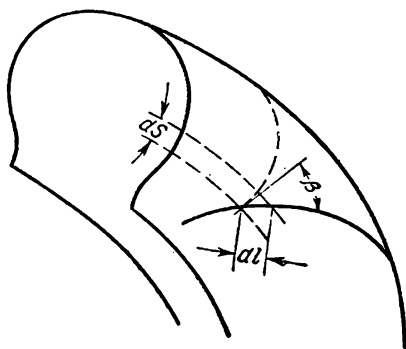


Рис. 47. К определению длины нити корда в слое.

каждого участка угол β можно было приближенно считать постоянным. Тогда интеграл (9) можно заменить суммой

$$l = \sum \frac{\Delta s_i}{\cos \beta_i} \quad (10)$$

где длина каждого участка Δs_i делится на косинус угла наклона к меридиану нити в середине того же участка.

Если все участки Δs_i выбраны одинаковой длины Δs , то

$$l = \Delta s \sum \frac{1}{\cos \beta_i}$$

причем угол β_i в середине каждого участка определяется в зависимости от расстояния от оси вращения по формулам (4) или (5).

Изложенный метод вычисления длины нити применяется тогда, когда, кроме полной длины нити, необходимо определить

длину нити на каждом участке Δs отдельно, например при разработке чертежа покрышки в прессформе (см. гл. III, стр. 202). Если нужно определить только полную длину нити (например, при расчете конфигурации надутый шины; см. стр. 80), то лучше использовать для интегрирования формулу парабол Симпсона. Как показывает опыт, в этом случае для получения высокой точности достаточно разделить профиль шины только на четыре равные части.

Примеры расчета длины нитей корда рассмотрены ниже.

Существенный интерес представляет изменение толщины каркаса покрышки при ее изготовлении. Это изменение характеризуется отношением толщины слоя обрешиненного корда h_0 к толщине h того же слоя в готовой покрышке. Отношение $\frac{h}{h_0}$, называемое коэффициентом прессовки, может быть приближенно найдено из условия постоянства объема материала.

Рассмотрим объем материала участка браслета в пределах одного шага нитей t_0 на длине нити dl_0 :

$$dv_0 = h_0 t_0 dl_0$$

Объем того же материала в покрышке составит:

$$dv = h t dl$$

Приравнивая $dv = dv_0$, найдем:

$$\frac{h}{h_0} = \frac{t_0}{t} \cdot \frac{dl_0}{dl}$$

Используя формулы (1) и (6), получим окончательно:

$$\frac{h}{h_0} = \frac{r_6 \cos \alpha}{(1 + \delta_1) r \cos \beta} \quad (11)$$

Формула (11) справедлива, если сырая резина не содержит газовых включений, и для тех зон покрышки, где отсутствует интенсивное перетекание резины. Коэффициент прессовки в бортовой части покрышки, где имеет место интенсивное перетекание резины, определяется по опытным данным.

При проведении расчетов геометрии нитей корда удобно использовать номограмму, приведенную на рис. 48. Для удобства расчетов такая номограмма помещена также в Приложении. Эта номограмма¹³ изображает формулу (4), которую можно также записать в виде

$$\sin \beta = \frac{\delta}{1 + \delta_1} \sin \alpha \quad (12)$$

где $\delta = \frac{r}{r_6}$ отношение расстояния данного участка от оси вращения в шине к радиусу браслета (это отношение называют иногда

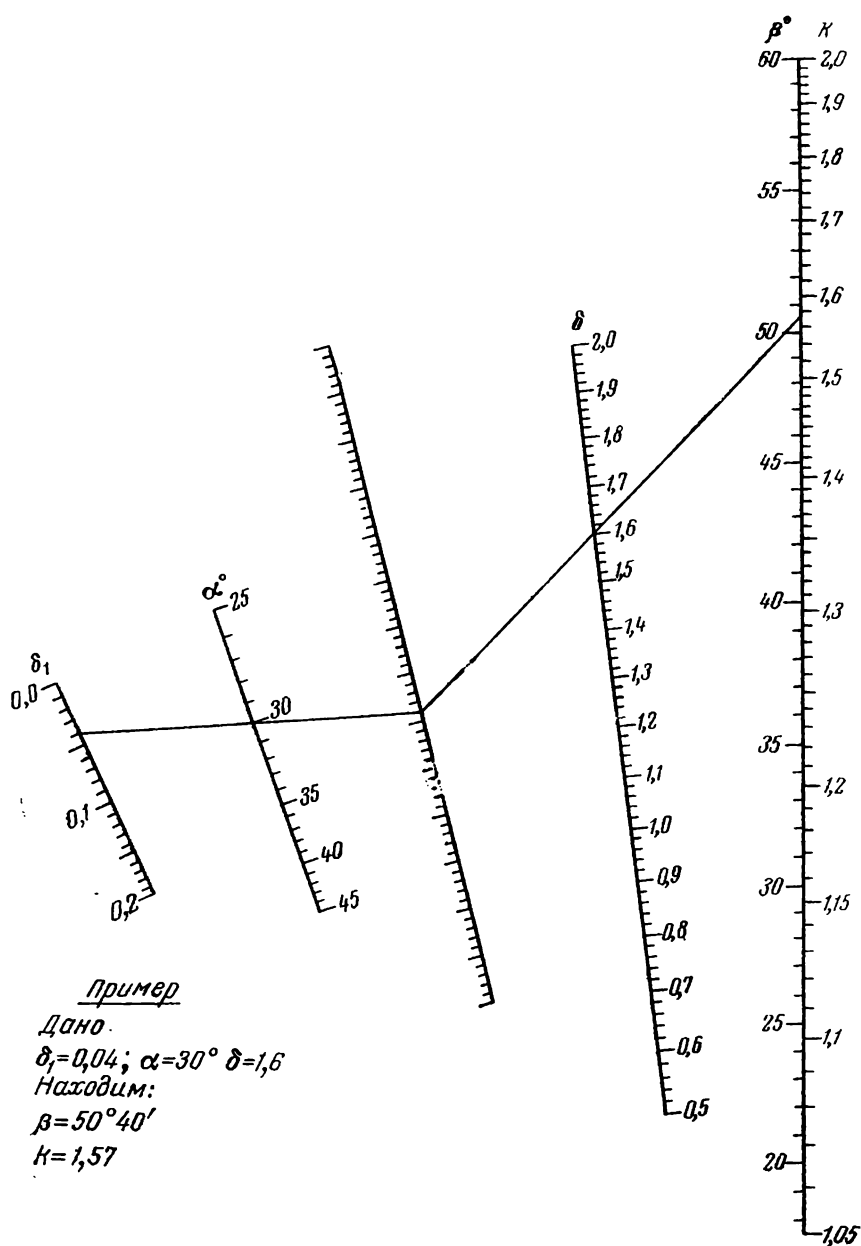


Рис. 48. Номограмма для расчета геометрии нитей корда в шине.

вытяжкой). Номограмма позволяет определять любую из величин, входящих в формулу (12), если остальные три величины известны.

Поскольку величина $k = \frac{1}{\cos\beta}$ (обозначение k введено для сокращения записи), необходимая для расчета длины нити по формуле (10), зависит только от угла β , значения этой величины наносятся на шкалу β номограммы в виде функциональной шкалы.

Рассмотрим некоторые типовые расчеты с помощью номограммы.

Определение угла и частоты нитей корда в покрышке по заданному углу закроя (α), длине браслета (l)*, условной вытяжке нити (δ_1) и частоте нитей корда в браслете (i_0).

а) Определяется вытяжка от браслета к рассматриваемой точке слоя в покрышке:

$$\delta = \frac{r}{r_6} = \frac{2\pi r}{l}$$

б) Соединяя прямой соответствующие точки на шкалах α и δ_1 , получаем засечку на вспомогательной (третьей) шкале.

в) Соединяя полученную засечку со значением δ на четвертой шкале и продолжая прямую, находим на пятой шкале значение искомого угла нити корда β в покрышке и значение коэффициента $k = \frac{1}{\cos\beta}$.

г) Частота нитей корда в данной точке определяется по формуле (7):

$$i = i_0 \frac{r_6}{r} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = i_0 \frac{\cos \alpha}{\delta} k$$

д) Теоретическое значение коэффициента прессовки слоя в той же точке можно определить по формуле (11):

$$\frac{h}{h_0} = \frac{r_6 \cos \alpha}{(1 + \delta_1) r \cos \beta} = \frac{\cos \alpha}{(1 + \delta_1) \delta} k$$

Числовой пример

Найти угол, частоту и теоретическое значение прессовки обрешеченного корда по экватору покрышки, для которой заданы: диаметр покрышки по первому слою (по экватору) $D_k = 955$ мм; угол закроя $\alpha = 30^\circ$; длина браслета $l = 1880$ мм;

* При полуплоской сборке длина первого браслета равна длине окружности сборочного барабана; при полудорновой сборке длина браслета определяется исходя из требований технологии. Для того, чтобы обеспечить возможность одевания браслета на барабан и в то же время достаточное его натяжение, отношение длины окружности полудорна к длине первого браслета должно лежать

в пределах $\frac{\pi D_6}{l} = 1,06 \div 1,12$.

условная вытяжка нити $\delta_1=0,04$; исходная частота обрезаемого корда— 94 нити/дм.

Вычисляем:

$$\delta = \frac{\pi D_k}{l} = \frac{3,14 \cdot 955}{1880} = 1,60$$

По номограмме (см. пример на рис. 48) находим угол по экватору покрышки

$$\beta_k = 50^\circ 40'; \quad k = \frac{1}{\cos \beta} = 1,57$$

Частота нитей корда в покрышке:

$$i = i_0 \frac{\cos \alpha}{\delta} k = 94 \cdot \frac{\cos 30^\circ}{1,60} \cdot 1,57 = 80 \text{ нитей/дм}$$

Теоретическое значение прессовки слоя:

$$\frac{h}{h_0} = \frac{\cos \alpha}{(1 + \delta_1) \delta} k = \frac{\cos 30^\circ}{1,04 \cdot 1,60} \cdot 1,57 = 0,82$$

Определение угла закроя по заданному углу β_k корда по экватору покрышки и по заданной условной вытяжке δ_1 нити. При заданной длине браслета l сначала вычисляется вытяжка:

$$\delta = \frac{\pi D_k}{l}$$

Соединяя точку, соответствующую заданному углу β_k , на крайней правой шкале номограммы с точкой на шкале δ , получаем засечку на вспомогательной шкале. Соединяя теперь эту засечку со значением условной вытяжки нити δ_1 на первой шкале, находим на второй шкале требуемое значение угла закроя.

Определение угла нити корда на барабане. При полуплоской сборке угол корда на барабане равен углу закроя, при полудорновой же несколько отличается от него. Угол нити корда на барабане α_6 при полудорновой сборке можно найти в зависимости от угла закроя или от угла в готовой покрышке.

В первом случае, поскольку при надевании браслета на барабан нить корда не вытягивается, откладывают на первой шкале $\delta_1=0$, на второй угол закроя. Полученную по вспомогательной шкале засечку соединяют со значением $\delta = \frac{\pi D_6}{l}$, где D_6 —диаметр барабана, l —длина первого браслета, и на крайней правой шкале находят угол на барабане.

Во втором случае, когда исходным является угол β_k в готовой покрышке, откладывают значение этого угла на крайней правой шкале, а на шкале δ откладывают $\delta = \frac{D_k}{D_6}$ —вытяжку от барабана

к покрышке. Соединив полученную на вспомогательной шкале засечку с значением δ_1 на первой шкале, находим угол на барабане на второй шкале.

Упругие свойства элемента резино-кордной конструкции

Каркас шины, состоящий из скрещивающихся слоев обрезиненного корда, имеет своеобразные механические свойства.

Это объясняется резким различием жесткостей резины и корда. Так, модуль упругости резины лежит в пределах $10\text{--}80 \text{ кгс/см}^2$, тогда как модуль продольной упругости текстильного корда составляет $10\ 000\text{--}20\ 000 \text{ кгс/см}^2$, а металлокорда—порядка 10^6 кгс/см^2 .

Механические свойства стенки шины в большой степени зависят от угла, составляемого нитями перекрещивающихся слоев корда. Изменение этого угла приводит к существенному изменению свойств шины в целом. Так, например, шины с меридиональным направлением нитей корда в каркасе (типа Р—см. гл. IV) коренным образом отличаются по свойствам от обычных шин. Поэтому изучение механических свойств элемента резинокордной конструкции весьма существенно и составляет базу всей теории пневматических шин.

Рассмотрим деформации в своей плоскости элемента стенки шины, представленного на рис. 49, а. Ввиду большой жесткости нитей корда деформации элемента, связанные с удлинением нитей, затруднены. Вместе с тем деформации, происходящие без изменения длины нитей и связанные лишь с изменением углов ромбиков, образованных нитями смежных слоев (рис. 49, б), осуществляются сравнительно легко.

Рассмотрим подробнее этот вид деформации элемента. Пусть малому прямоугольному элементу стенки $ABCD$ (рис. 50) соответствует образованный нитями ромб $OMNP$ с длиной стороны $OM = dl$. Стороны прямоугольника равны соответственно $ON = dx = 2dl \sin \beta$, $MP = dy = 2dl \cos \beta$, где β —угол, составляемый нитями корда с осью y . При деформации рассматриваемого типа, нити корда, сохраняя свою длину, поворачиваются на угол θ и после деформации составляют с осью y уже углы $\beta + \theta$. В связи с этим размеры прямоугольного элемента также изменяются и становятся равными

$$dx_1 = ON_1 = 2dl \sin(\beta + \theta); \quad dy_1 = M_1P_1 = 2dl \cos(\beta + \theta)$$

Считая угол поворота θ малым и полагая $\sin\theta = \theta$, $\cos\theta = 1$, найдем:

$$dx_1 = 2dl (\sin \beta \cos \theta + \cos \beta \sin \theta) \approx 2dl (\sin \beta + \theta \cos \beta)$$

$$dy_1 = 2dl (\cos \beta \cos \theta - \sin \beta \sin \theta) \approx 2dl (\cos \beta - \theta \sin \beta)$$

Вычислим относительные деформации элемента в направлениях x и y :

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{0x} &= \frac{dx_1 - dx}{dx} = \frac{2dl(\sin \beta + \theta \cos \beta) - 2dl \sin \beta}{2dl \sin \beta} = \theta \operatorname{ctg} \beta \\ \varepsilon_{0y} &= \frac{dy_1 - dy}{dy} = \frac{2dl(\cos \beta - \theta \sin \beta) - 2dl \cos \beta}{2dl \cos \beta} = -\theta \operatorname{tg} \beta \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Отсюда следует, что в данном случае деформации ε_{0x} и ε_{0y} не независимы, а связаны уравнением

$$\varepsilon_{0x} = -\varepsilon_{0y} \operatorname{ctg}^2 \beta \quad (14)$$

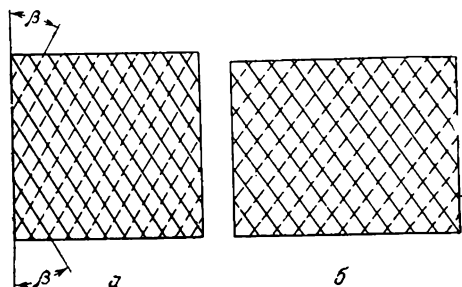


Рис. 49. Деформации резино-кордного элемента стенки шины без изменения длины нитей: а—элемент до деформации; б—элемент после деформации.

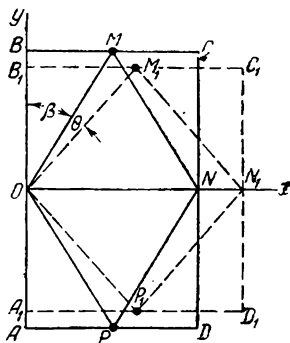


Рис. 50. Изменение размеров ромба, образованного нитями корда при сохранении их длины.

Уравнение (14) является одним из условий нерастяжимости нитей корда. С другой стороны, из рис. 50 ясно, что диагонали ромба при деформации остаются взаимно перпендикулярными. Следовательно, оси x и y являются в данном случае направлениями главных деформаций и относительный сдвиг в этих направлениях отсутствует:

$$\gamma_{0xy} = 0$$

Это уравнение представляет собой второе условие нерастяжимости нитей корда.

Подсчитаем потенциальную энергию, накапливаемую элементом стенки при деформации рассматриваемого типа. Эта энергия складывается из энергии деформации резиновых слоев и прослоек и энергии деформации резины, заполняющей промежутки между нитями в кордных слоях. Поскольку предполагается, что нити корда не деформируются, то энергия накапливается только в резине.

Энергия деформации резиновых прослоек, испытывающих деформации ϵ_{0x} и ϵ_{0y} , приходящаяся на один квадратный сантиметр поверхности, определяется выражением¹⁴

$$W_p = 2G(h - nd)(\epsilon_{0x}^2 + \epsilon_{0y}^2 + \epsilon_{0x}\epsilon_{0y}) \quad (15)$$

где G —модуль сдвига резины;
 h —полная толщина стенки;
 n —число кордных слоев;
 d —калибр нити корда.

Таким образом, величина $(h - nd)$ представляет собой суммарную толщину резиновых слоев.

Формула (15) относится к тому случаю, когда все резиновые прослойки имеют одинаковую жесткость; в противном случае произведение $G(h - nd)$ следует заменить суммой $\Sigma G_i h_i$ произведений модуля сдвига каждого резинового слоя на его толщину.

Более сложным является вычисление энергии деформаций резины в слое корда. Это связано с тем, что между нитями деформации резины больше, чем в резиновых слоях, так как они стеснены недеформируемыми нитями. Как показывает расчет¹⁴, энергию деформации резины в слоях корда можно определить по формуле, аналогичной формуле (15):

$$W_{pk} = 2GKnd(\epsilon_{0x}^2 + \epsilon_{0y}^2 + \epsilon_{0x}\epsilon_{0y}) \quad (16)$$

где K —поправочный множитель, зависящий от отношения диаметра нити d к шагу нитей t :

$$K = \frac{t}{d} \left[\frac{2}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{t}\right)^2}} \arctg \sqrt{\frac{t+d}{t-d}} - \frac{\pi}{2} \right] \quad (17)$$

График зависимости коэффициента K от отношения $\frac{d}{t}$ представлен на рис. 51.

Энергия, накапливаемая 1 см² стенки шины при деформации без удлинения нитей равна

$$W = W_p + W_{pk} = 2Gh_{np}(\epsilon_{0x}^2 + \epsilon_{0y}^2 + \epsilon_{0x}\epsilon_{0y}) \quad (18)$$

где через h_{np} обозначена величина

$$h_{np} = h + nd(K - 1) \quad (19)$$

которую можно рассматривать как приведенную толщину стенки.

Значения ϵ_{0x} и ϵ_{0y} в формуле (18) связаны зависимостью (14) и выражаются через угол поворота θ по формулам (13).

Поэтому энергию W можно выразить через θ :

$$W_0 = 2Gh_{\text{пр.}} (\operatorname{tg}^2 \beta + \operatorname{ctg}^2 \beta - 1)\theta^2 \quad (20)$$

Теперь рассмотрим деформации элемента стенки шины, связанные с изменением длины нитей без изменения углов между ними.

Предположим, что нити одного направления (например, нити, идущие на рис. 52 слева вверх направо) получают удлинение ε_1 ,

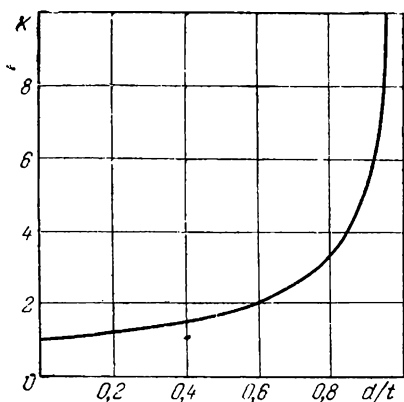


Рис. 51. Зависимость коэффициента K от отношения $\frac{d}{t}$ толщины нитей корда к их шагу.

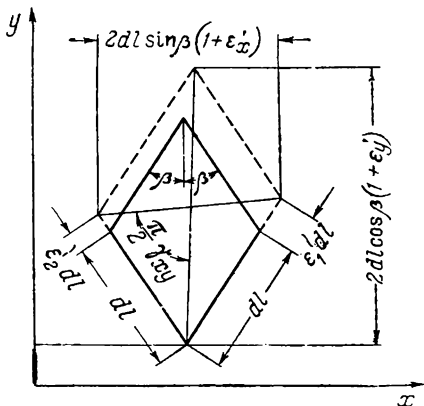


Рис. 52. Деформации элементарного ромба в связи с удлинением нитей корда.

а нити другого направления— ε_2 . В этом случае ромб со стороной dl превращается в параллелограмм со сторонами $dl(1+\varepsilon_1)$ и $dl(1+\varepsilon_2)$. С помощью простых геометрических построений можно найти соответствующие компоненты деформации в направлениях осей x и y :

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon'_x &= \frac{1}{2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \\ \varepsilon'_y &= \frac{1}{2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \\ \gamma_{xy} &= \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sin 2\beta} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

При подсчете потенциальной энергии, накапливаемой при рассматриваемом типе деформации, можно пренебречь энергией резины в сравнении с энергией значительно более жестких ни-

тей корда. Считая, что характеристика растяжения нити линейна, так что усилие в ней определяется равенством

$$N = E_k \varepsilon \quad (22)$$

где $E_k \left[\frac{\text{кгс}}{\text{нить}} \right]$ — «модуль упругости» нити, придем к следующему выражению для энергии деформации нитей:

$$W_1 = \frac{ni}{2} E_k \cdot \frac{1}{2} (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2) \quad (23)$$

где $\frac{ni}{2}$ — суммарная длина нитей каждого направления на единицу площади элемента;
 n — полное число слоев корда;
 i — частота нитей в слое.

Если одновременно имеют место деформации, связанные с изменением углов нитей корда и с их растяжением, то суммарные деформации в направлениях x и y составят:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \varepsilon_{0x} + \varepsilon_{1x} = \theta \operatorname{ctg} \beta + \frac{1}{2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \\ \varepsilon_y &= \varepsilon_{0y} + \varepsilon_{1y} = -\theta \operatorname{tg} \beta + \frac{1}{2} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \\ \gamma_{xy} &= \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sin 2\beta} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Уравнения (24) можно решить относительно деформаций ε_1 и ε_2 и угла поворота нитей θ :

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{1,2} &= \varepsilon_x \sin^2 \beta + \varepsilon_y \cos^2 \beta \pm \frac{1}{2} \gamma_{xy} \sin 2\beta \\ \theta &= \frac{1}{2} (\varepsilon_x - \varepsilon_y) \sin 2\beta \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Полная энергия деформации W , отнесенная к единице площади элемента, равна сумме энергии резины W_0 и энергии нитей W_1 . Заменяя в соответствующих выражениях ε_1 , ε_2 и θ их значениями согласно формулам (25), найдем:

$$\begin{aligned} W &= 2Gh_{\text{нр}} (\sin^4 \beta + \cos^4 \beta - \sin^2 \beta \cos^2 \beta) (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \\ &+ \frac{ni E_k}{2} [(\varepsilon_x \sin^2 \beta + \varepsilon_y \cos^2 \beta)^2 + \gamma_{xy}^2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta] \end{aligned} \quad (26)$$

Зная удельную потенциальную энергию, можно определить средние значения усилий T_x , T_y и S_{xy} в сечениях стенки шины

(рис. 53). Эти усилия определяют как частные производные энергии по соответствующим деформациям:

$$\left. \begin{aligned} T_x &= \frac{\partial W}{\partial \epsilon_x} = 4Gh_{\text{нр.}} (\sin^4 \beta + \cos^4 \beta - \sin^2 \beta \cos^2 \beta) (\epsilon_x - \epsilon_y) + \\ &\quad + ni E_k (\epsilon_x \sin^2 \beta + \epsilon_y \cos^2 \beta) \sin^2 \beta \\ T_y &= \frac{\partial W}{\partial \epsilon_y} = 4Gh_{\text{нр.}} (\sin^4 \beta + \cos^4 \beta - \sin^2 \beta \cos^2 \beta) (\epsilon_y - \epsilon_x) + \\ &\quad + ni E_k (\epsilon_x \sin^2 \beta + \epsilon_y \cos^2 \beta) \cos^2 \beta \\ S_{xy} &= ni E_k \sin^2 \beta \cos^2 \beta \gamma_{xy} \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Справедливость полученных формул проверена экспериментально¹⁴. С этой целью из двухслойных резино-кордных пластин, собранных под различными углами β , вырезались образцы также

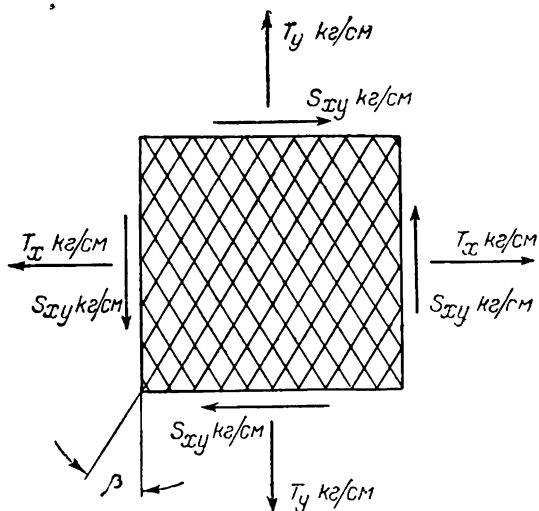


Рис. 53 Интенсивности внутренних сил в сечениях резино-кордной конструкции.

под разными углами φ (рис. 54). Эти образцы испытывались на растяжение и устанавливалась их податливость, т. е. отношение относительного удлинения к интенсивности растягивающей силы. Эту податливость можно также рассчитать, пользуясь формулами (27); для этого, в зависимости от интенсивности продольной нагрузки образца q , определяют усилия

$$T_x = q \cos^2 \varphi; \quad T_y = q \sin^2 \varphi; \quad S_{xy} = q \sin \varphi \cos \varphi$$

Затем по формулам (27) находятся деформации ε_x , ε_y и γ_{xy} и, наконец, пользуясь теорией деформаций¹⁴, находят продольное удлинение образца.

Результаты расчетов (податливость в зависимости от угла φ) для разных углов β представлены в полярных координатах на рис. 55. На тех же графиках нанесены точки, полученные экспериментально.

Кривые рис. 55 показывают, что резино-кордная конструкция является резко анизотропной; податливость ее в разных направлениях отличается в десятки раз. Это обстоятельство является определяющим во всем поведении пневматической шины. Поэтому, изменяя угол нитей корда, можно существенно изменять свойства шины.

Большое практическое значение имеют формулы расчета резино-кордной сетчатой конструкции без учета усилий, воспринимаемых резиной.

Рассмотрим элемент резино-кордной конструкции $\Delta x \cdot \Delta y$ (рис. 56, а). Обозначим усилия в нитях корда, идущих слева вверх направо через N_1 , усилия в нитях пересекающихся слоев—через N_2 . Тогда полное вертикальное усилие, приложенное к сечению Δx элемента, изображенного на рис. 56, а, может быть вычислено как

$$(N_1 + N_2) \cos \beta \Delta x \cos \beta i \frac{n}{2}$$

где $N_1 \cos \beta$ и $N_2 \cos \beta$ —проекции на вертикаль усилий N_1 и N_2 ; $\Delta x \cos \beta i$ —количество нитей каждого слоя, пересекающих сечение Δx ; $i = \frac{1}{l}$ —частота нитей корда в слое; n —полное число слоев, $\frac{n}{2}$ —число слоев корда данного направления.

С другой стороны, то же усилие может быть выражено через интенсивность сил T_y как произведение $T_y \Delta x$ (рис. 56, б).

Сопоставляя два выражения одной и той же силы, найдем:

$$T_y = \frac{1}{2} n i (N_1 + N_2) \cos^2 \beta \quad (28)$$

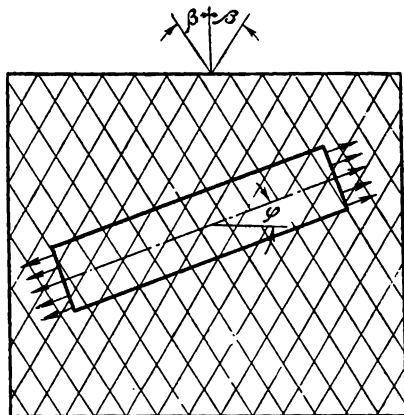


Рис. 54. Вырезка образца из двухслойной резино-кордной пластины.

Аналогичным способом, рассматривая горизонтальные силы, воспринимаемые сечением Δy , получим:

$$T_x = \frac{1}{2} ni (N_1 + N_2) \sin^2 \beta \quad (29)$$

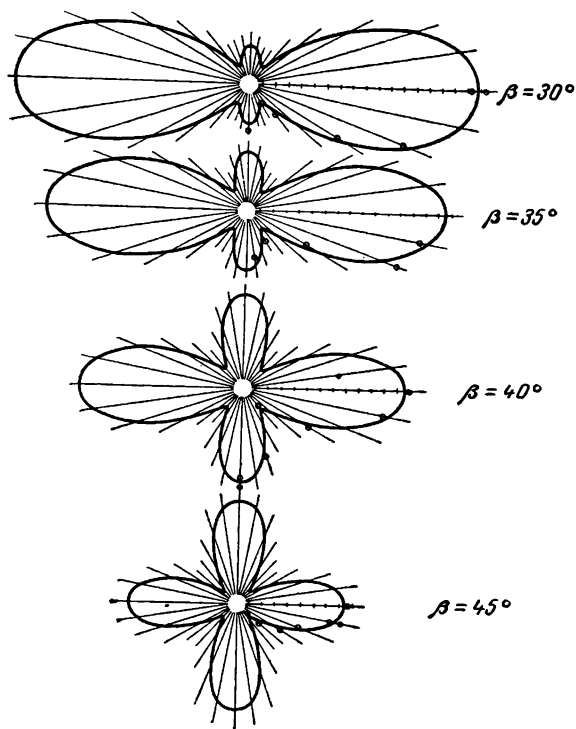


Рис. 55. Податливость образцов, вырезанных в различных направлениях из резино-кордных пластин, собранных с разными углами β .

Сплошные линии—расчет; точки—эксперимент.

Сдвиговое усилие S_{xy} определяется формулой

$$S_{xy} = \frac{1}{2} ni (N_1 - N_2) \sin \beta \cos \beta \quad (30)$$

Зависимости (28)—(30) можно получить и из общих формул (27), если пренебречь слагаемыми, содержащими множитель $Gh_{пр.}$, в сравнении со слагаемыми, содержащими множитель niE_k^* , и

* Ввиду большой жесткости нитей в сравнении с резиной $Gh_{пр.}$ обычно в 500—1000 раз меньше, чем niE_k .

учесть, что

$$E_x (\epsilon_x \sin^2 \beta + \epsilon_y \cos^2 \beta + \gamma_{xy} \sin \beta \cos \beta) = E_k \epsilon_1 = N_1$$

$$E_x (\epsilon_x \sin^2 \beta + \epsilon_y \cos^2 \beta - \gamma_{xy} \sin \beta \cos \beta) = E_k \epsilon_2 = N_2$$

Из выражений (28) и (29) следует важная зависимость, связывающая между собой интенсивности усилий T_x и T_y в случае, если напряжениями в резине можно пренебречь:

$$T_x = T_y \operatorname{tg}^2 \beta \quad (31)$$

Формула (31) используется при расчете равновесной конфигурации шины.

Теперь рассмотрим изгиб резино-кордной стенки шины. Благодаря наличию сравнительно жестких кордных слоев и мягких резиновых прослоек между ними изгиб стенки отличается некоторыми существенными особенностями, главной из которых является большая роль деформаций сдвига в межслойной резине.

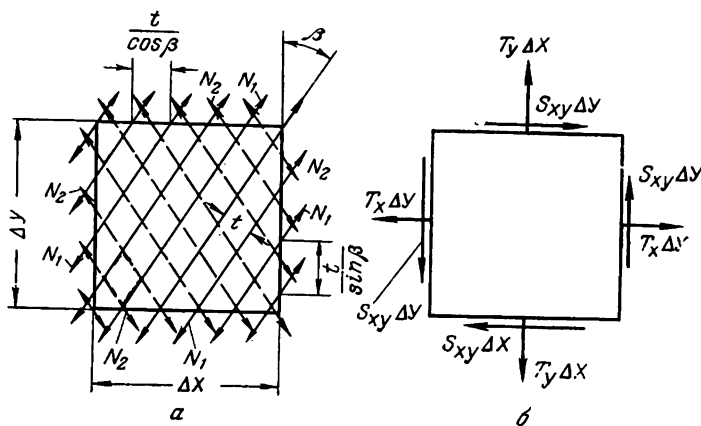


Рис. 56. К определению усилий в сечениях резино-кордной конструкции.

Для качественного анализа работы такой конструкции, при изгибе рассмотрим простейший ее вариант (рис. 57)—трехслойную пластину, наружные слои которой изготовлены из существенно более жесткого материала, чем внутренний. Предположим, что толщина наружных слоев мала в сравнении с общей толщиной конструкции.

При цилиндрическом изгибе такой пластины наружные слои будут испытывать деформации растяжения—сжатия, а внутренний слой—преимущественно деформации сдвига.

Рассмотрим вырезанный из пластины элемент длины ds (рис. 58, а). При цилиндрическом изгибе пластины нормаль к ее срединной поверхности поворачивается на угол φ , а сечение пла-

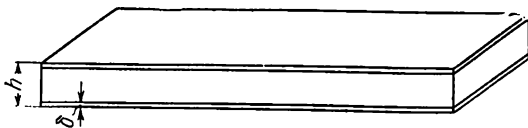


Рис. 57. Трехслойная пластина из различных по жесткости материалов.

стины поворачивается относительно нормали на угол сдвига γ . При этом верхний наружный слой испытывает деформацию сжатия, равную

$$\epsilon = \frac{h}{2} \cdot \frac{d\varphi + d\gamma}{ds} \quad (32)$$

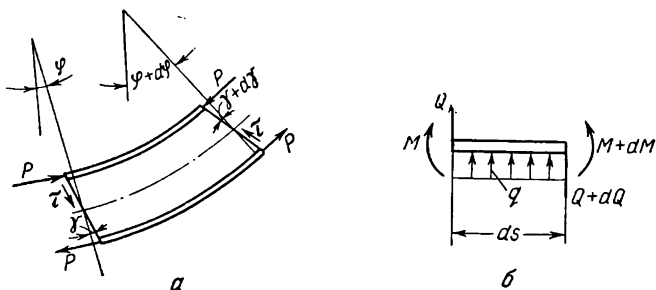


Рис. 58. Деформации элемента ds пластины и действующие на него силы.

а нижний слой—такую же деформацию растяжения. В слоях возникают усилия, интенсивность которых на единицу ширины пластины равна

$$P = E\delta\epsilon$$

где E —модуль упругости материала, δ —толщина наружных слоев.

Эти усилия приводят к моменту (рис. 58, б)

$$M = Ph = \frac{E\delta h^2}{2} \left(\frac{d\varphi}{ds} + \frac{d\gamma}{ds} \right) \quad (33)$$

В среднем слое касательное напряжение равно $\tau = G\gamma$ и интенсивность поперечной силы Q составляет

$$Q = \tau h = Gh\gamma \quad (34)$$

Рассматривая равновесие элемента, представленного на рис. 58, б, получим уравнение моментов:

$$Q = \frac{dM}{ds} \quad (35)$$

и уравнение проекций:

$$\frac{dQ}{ds} = q \quad (36)$$

Подставляя выражения M и Q в уравнение равновесия (35), найдем:

$$Gh\gamma = \frac{E\delta h^2}{2} \left(\frac{d^2\varphi}{ds^2} + \frac{d^2\gamma}{ds^2} \right) \quad (37)$$

С другой стороны, при малых деформациях угол поворота φ связан с прогибом пластины v зависимостью

$$\varphi = \frac{dv}{ds}$$

Рассмотрим напряжения, возникающие в составной пластине при деформировании ее по заданной поверхности.



Рис. 59. Деформации пластины при прижатии ее к волнистой поверхности.

Пусть, например, пластина прижимается к волнистой поверхности синусоидальной формы (рис. 59), так что

$$v = A \cos \frac{\pi s}{l}$$

где l —длина полуволны синусоиды.

Тогда

$$\varphi = \frac{dv}{ds} = -A \frac{\pi}{l} \sin \frac{\pi s}{l}$$

и уравнение (37) получает следующий вид:

$$\frac{d^2\gamma}{ds^2} - k^2\gamma = -A \frac{\pi^2}{l^2} \sin \frac{\pi s}{l} \quad (38)$$

где

$$k^2 = \frac{Gh}{\frac{E\delta h^2}{2}}$$

отношение жесткости сдвига к жесткости при чистом изгибе.

Периодическое решение уравнения (38) имеет вид

$$\gamma = \frac{A \frac{\pi}{l}}{1 + \frac{k^2 l^2}{\pi^2}} \sin \frac{\pi s}{l} \quad (39)$$

Полученная формула показывает, что при заданных деформациях пластины в целом величина деформации сдвига в среднем слое существенно зависит от произведения $k^2 l^2$ и уменьшается с увеличением этого произведения.

В соответствии с формулой (32) деформации наружных слоев пластины составят:

$$\epsilon = \frac{h}{2} \left(\frac{d\varphi}{ds} + \frac{d\gamma}{ds} \right) = -A \frac{\pi^2}{l^2} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{\frac{k^2 l^2}{\pi^2}}{1 + \frac{k^2 l^2}{\pi^2}} \cos \frac{\pi s}{l} \quad (40)$$

Величина

$$\frac{k^2 l^2}{\pi^2} = \frac{Gh}{E\delta} \cdot \frac{2l^2}{\pi^2 h^2}$$

входящая в формулы (39) и (40) является безразмерной; она зависит от соотношения модулей упругости среднего и наружных слоев пластины и от отношения длины полуволны синусоиды к толщине пластины.

Если эти отношения малы (мягкий средний слой и короткие волны), второй член в знаменателе формулы (39) мал в сравнении с единицей и $\gamma \approx -\varphi$.

В этом случае при изгибе сечения пластины остаются вертикальными, наружные слои не испытывают продольных деформаций ($\epsilon = 0$) и изгиб осуществляется только за счет сдвига в среднем слое.

При возрастании величины $\frac{k^2 l^2}{\pi^2}$ (жесткий средний слой) деформации в крайних слоях возрастают, а деформация сдвига в среднем слое уменьшается. В этом случае пластина изгибается так же, как однородная.

Зависимость максимальных деформаций сдвига и растяжения от величины $\frac{k^2 l^2}{\pi^2}$ представлена на рис. 60. По горизонтали здесь отложена величина $\frac{k^2 l^2}{\pi^2}$, а по вертикали $\frac{\gamma}{\gamma_0}$ и $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$, где $\gamma_0 = \frac{A\pi}{l}$ — максимально возможный сдвиг при податливом среднем слое; $\epsilon_0 = A \frac{\pi^2}{l^2} \cdot \frac{h}{2}$ — линейная деформация при жестком среднем слое, когда соблюдается закон плоских сечений.

Из этих формул видно, что, несмотря на то что прогибы пластины в целом являются заданными, деформации сдвига в среднем слое и линейные деформации в крайних слоях существенно зависят от соотношения упругих свойств и геометрических размеров слоев, а также от соотношения между длиной поперечной деформации l и толщиной пластины h .

Выводы, полученные нами для простейшей трехслойной пластины, справедливы и для многослойной конструкции такого рода, если под k^2 понимать отношение жесткости на сдвиг этой конструкции к жесткости на изгиб:

$$k^2 = \frac{C_{\text{сдв.}}}{C_{\text{изг.}}}$$

Рассмотрим, например, полосу единичной ширины, вырезанную из стенки шины двумя сечениями, идущими вдоль нитей (рис. 61, а). Поперечное сечение такой полосы (рис. 61, б) будет перпендикулярным нитям четных или нечетных слоев корда; нити других слоев приблизительно параллельны сечению.

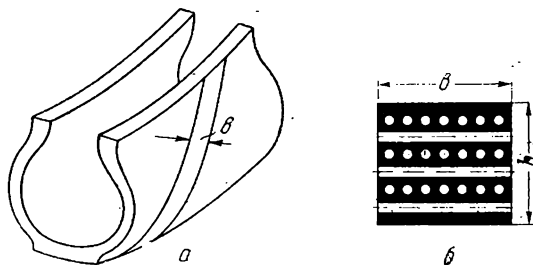


Рис. 61. Полоса, выделенная из каркаса шины в направлении нитей (а), и поперечное сечение полосы (б).

Жесткость такой полосы при сдвиге можно приближенно найти по формуле

$$C_{\text{сдв.}} = Gh \frac{h}{h - nd}$$

где G —модуль сдвига резины; h —толщина кордного каркаса,

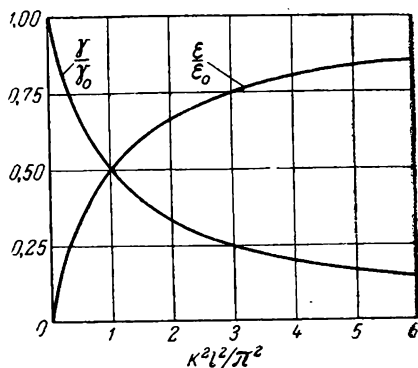


Рис. 60. Зависимость максимальных деформаций сдвига и растяжения от величины

$$\frac{k^2 l^2}{\pi^2} = \frac{2}{\pi^2} \frac{G}{E} \frac{l^2}{\delta h}$$

d —толщина нити; n —число кордных слоев. Множитель $\frac{h}{h-nd}$ учитывает увеличение жесткости на сдвиг вследствие наличия корда.

Жесткость при изгибе определяется формулой

$$C_{\text{изг.}} = E_k \Sigma i y^2$$

где E_k —модуль нити корда; $\Sigma i y^2$ —сумма произведений частот нитей в слоях, попавших в сечение*, на квадраты их расстояний от нейтральной оси.

Приближенно при достаточно большом числе слоев

$$C_{\text{изг.}} \approx \frac{E_k n i h^2}{24}$$

где i —средняя частота нитей.

Оценим порядок величин $C_{\text{сдв.}}$ и $C_{\text{изг.}}$ и коэффициента k^2 для грузовой автомобильной шины.

Примем, что число слоев $n=8$, частота нитей $i=8$ нитей/см, толщина нити $d=0,8$ мм, корд вискозный с модулем $E_k=100$ кгс/нить, толщина каркаса $h=12$ мм, модуль сдвига резины $G=10$ кгс/см².

Тогда получим:

$$C_{\text{сдв.}} = Gh \frac{h}{h-nd} = 10 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,2}{1,2-8 \cdot 0,09} = 30 \text{ кгс/см}$$

$$C_{\text{изг.}} = E_k \Sigma i y^2 = 100 \cdot 8 \cdot 2 (0,15^2 + 0,45^2) = 360 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

где 0,15 см и 0,45 см—расстояния слоев от нейтральной оси.

По приближенной формуле мы получили бы

$$C_{\text{изг.}} = \frac{E_k n i h^2}{24} = \frac{100 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 1,2^2}{24} = 385 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

Таким образом, для восьмислойного каркаса приближенная формула достаточно точна.

Для коэффициента k^2 находим:

$$k^2 = \frac{C_{\text{сдв.}}}{C_{\text{изг.}}} = \frac{30}{360} = 0,083 \frac{1}{\text{см}^2}$$

Если длина полуволны деформации составляет $l=10$ см, что соответствует, например, изгибу беговой дорожки шины на булыжнике, то величина $\frac{k^2 l^2}{\pi^2}$ равна 0,85.

Из рис. 60 видно, что в этом случае деформации сдвига очень существенны и линейная деформация ϵ составляет менее половины

* Т. е. только четных или только нечетных слоев.

той деформации, которая возникла бы в однородной полосе при соблюдении закона плоских сечений.

Проводя аналогичный расчет для легковой четырехслойной шины, найдем, что для нее величина k^2 приблизительно в 4—5 раз больше, чем для грузовой шины. В этом случае роль деформаций сдвига между слоями незначительна.

Проведенное выше исследование изгиба многослойной конструкции, составленной из разнородных материалов, позволяет установить зависимость напряжений, возникающих в резине и корде шины, от свойств этих материалов и от параметров конструкции.

Результаты этого исследования будут использованы ниже при рассмотрении режимов работы шинных материалов.

НАГРУЖЕНИЕ ШИНЫ ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

Равновесная конфигурация шины

Определение усилий, возникающих в каркасе шины при воздействии внутреннего давления, являлось предметом многих исследований.

Шина рассматривалась как тонкостенная оболочка вращения торообразной формы и определялись интенсивности усилий в окружном и меридиональном направлениях. Однако полученные средние значения усилий в сечениях не позволяли определить силы в нитях корда.

В упомянутых работах не учитывались особые анизотропные свойства каркаса шины, образованного сравнительно жесткими нитями корда и эластичной резиной. Эти свойства, подробно рассмотренные выше, обуславливают своеобразное поведение шины при нагружении внутренним давлением.

Наблюдая за изменением размеров шины при надувке, можно установить, что сначала размеры меняются существенно, но, после того как давление достигает небольшой величины (порядка 0,5—1 $\text{кгс}/\text{см}^2$), изменение размеров замедляется. Это видно, например, из рис. 62, на котором показано изменение ширины профиля шины 9,00—20 в зависимости от внутреннего давления.

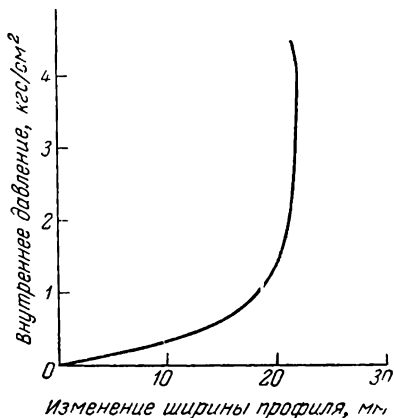


Рис. 62. Уменьшение ширины профиля шины 9,00—20 в зависимости от внутреннего давления.

Указанное явление можно объяснить тем, что уже при небольшом давлении за счет деформаций, связанных с изменением углов между нитями корда, каркас шины принимает такую форму, что усилия воспринимаются только нитями. Дальнейшее изменение формы шины происходит вследствие изменения длины нитей и ввиду жесткости последних затруднено.

Конфигурацию каркаса, при которой нагрузка от внутреннего давления воспринимается только усилиями в нитях (равновесную конфигурацию), можно рассчитать теоретически*. Детально решение этой задачи рассмотрено в работе¹³.

Предположим, что нити корда являются нерастяжимыми и что усилия в резине малы по сравнению с усилиями в нитях.

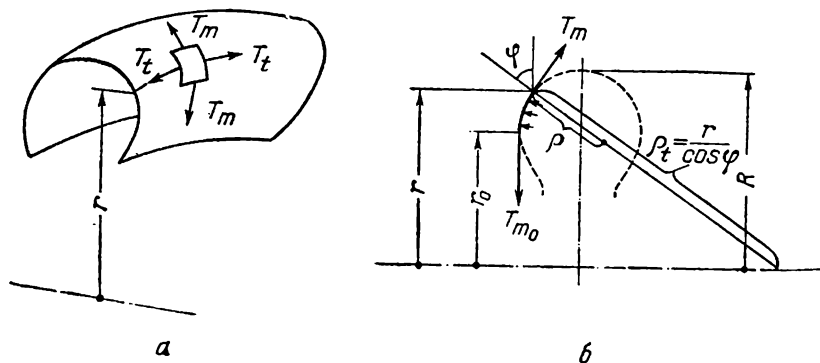


Рис. 63. К выводу уравнений равновесия:
а—бесконечно малого элемента стенки; б—конечной части оболочки.

При этом усилия в нитях и средние интенсивности сил в стенке шины будут связаны формулами (28)—(31).

Рассматривая шину как тонкостенную оболочку, нагруженную внутренним давлением p , можно из условий равновесия найти интенсивности сил в ее стенке. Так, условие равновесия бесконечно малого элемента, показанного на рис. 63, а, приводит к известному уравнению Лапласа:

$$\frac{T_m}{\rho} + \frac{T_t}{\rho_t} = p \quad (41)$$

где T_m и T_t —интенсивности меридионального и окружного усилия (т. е. силы, приходящиеся на единицу длины сечения); ρ —радиус кривизны профиля в рассматриваемой точке; $\rho_t = \frac{r}{\cos \varphi}$ —радиус

* Равновесная конфигурация соответствует максимально возможному при данной длине нити корда внутреннему объему шины¹⁴.

кривизны сечения нормального к меридиану; r —расстояние точки от оси вращения шины; φ —угол, составляемый нормалью к поверхности с осью симметрии профиля.

Условие равновесия части оболочки, выделенной цилиндрической поверхностью радиуса r_0 и конической поверхностью, проходящей через рассматриваемую точку нормально к меридиану (фиг. 63,б), имеет следующий вид:

$$T_m \cdot 2\pi r \cos \varphi = p\pi (r^2 - r_0^2) \quad (42)$$

Радиус r_0 представляет собой расстояние от оси вращения шины до наиболее широкого места профиля, где нормаль к нему параллельна оси вращения.

Как уже указывалось, наряду с уравнениями равновесия (41) и (42) справедливо уравнение (31), выражающее гипотезу о восприятии нагрузки только нитями корда. В данном случае это уравнение имеет вид

$$\frac{T_t}{T_m} = \operatorname{tg}^2 \beta \quad (43)$$

где β —угол, составляемый нитью корда с меридианом.

Исключая из уравнений (41), (42) и (43) усилия T_m и T_t , приходим к соотношению

$$\frac{1}{\rho} + \frac{\operatorname{tg}^2 \beta \cos \varphi}{r} = \frac{2r \cos \varphi}{r^2 - r_0^2} \quad (44)$$

в которое входят только геометрические параметры. Равенство (44) и определяет равновесную конфигурацию профиля шины.

Учитывая, что угол β нити корда с меридианом в любой точке шины связан с углом по экватору β_k равенством (5) и что

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{d\varphi}{dr} \sin \varphi$$

можно привести уравнение (44) к следующему виду:

$$\frac{1}{\cos \varphi} \cdot \frac{d}{dr} (\cos \varphi) = \frac{2r}{r^2 - r_0^2} - \frac{r}{\frac{R^2}{\sin^2 \beta_k} - r^2}$$

Интегрируя полученное дифференциальное уравнение и определяя постоянную интегрирования исходя из того, что при $r=R$ $\varphi=0$, получим:

$$\cos \varphi = \frac{(r^2 - r_0^2) \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta_k}{R^2} r^2}}{(R^2 - r_0^2) \cos \beta_k} = \frac{(r^2 - r_0^2) \cos \beta}{(R^2 - r_0^2) \cos \beta_k} \quad (45)$$

Равенство (45) определяет угол, составляемый нормалью к профилю с осью симметрии последнего, в зависимости от расстояния точки профиля от оси вращения.

Путем графического интегрирования можно по выражению (45) построить равновесный профиль шины*, если заданы параметры R , r_0 , β_k .

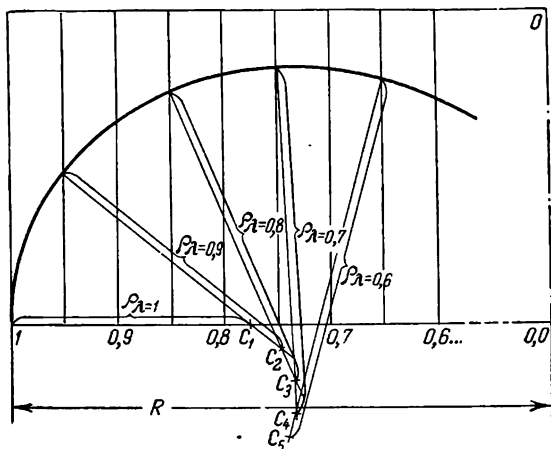


Рис. 64. Построение равновесного профиля шины с помощью дуг окружностей.

Удобнее, однако, для этой цели использовать значение радиуса кривизны профиля ρ , которое можно получить, подставляя выражение (45) в формулу (44):

$$\rho = R \frac{1 - \lambda_0^2}{\lambda} \cdot \frac{\cos \beta_k \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \beta_k}}{2 - (3\lambda^2 - \lambda_0^2) \sin^2 \beta_k} \quad (46)$$

где

$$\lambda = \frac{r}{R}; \quad \lambda_0 = \frac{r_0}{R}$$

По уравнению (46) можно построить равновесный профиль шины, заменяя его на каждом малом участке дугой радиуса ρ , подсчитанного для средней точки этого участка (рис. 64).

Построенные таким образом равновесные профили для ряда углов по экватору β_k приведены в Приложении в виде номограмм.

* Аналитическое определение формы профиля может быть выполнено только численными методами, так как соответствующие интегралы не сводятся к табулированным функциям.

На каждой из номограмм, составленной для определенного угла по экватору β_k , построен ряд равновесных профилей, соответствующих различным значениям параметра $\lambda_0 = \frac{r_0}{R}$. Кроме того, на номограммах нанесены кривые, соответствующие постоянным отношениям $\frac{L}{R}$, где L —длина участка нити корда в шине от экватора до заданной точки.

С помощью этих номограмм можно разрешать следующие задачи:

1. Определить профиль надутой покрышки с заданным наружным диаметром, монтируемой на заданный обод.

2. Найти размер обода, на который должна монтироваться покрышка с заданным наружным диаметром, чтобы профиль ее имел заданную ширину.

3. По заданному размеру обода и ширине профиля покрышки построить профиль и определить наружный диаметр надутой шины.

При разрешении всех этих задач следует иметь в виду, что расчетными являются размеры по внутреннему контуру каркаса покрышки*. Для получения наружных габаритов покрышки к этим размерам следует добавлять толщину каркаса и соответственно толщину протектора или боковины покрышки.

За точку сопряжения профиля покрышки с ободом (коротко— точку обода) принимается некоторая точка внутреннего контура каркаса C , расположенная вблизи закраины обода (рис. 65). Предполагается, что снаружи от точки обода шина свободно деформируется и принимает равновесную форму, а борт шины внутрь от этой точки совершенно не деформируется. Выбор положения этой точки обода является в известной мере произвольным. Так, например, на рис. 65 за точку обода может быть принята любая точка участка AB .

Определение профиля покрышки, монтируемой на заданный обод при известном наружном диаметре, производится следующим образом.

Прежде всего находят радиус R каркаса покрышки по эквато-

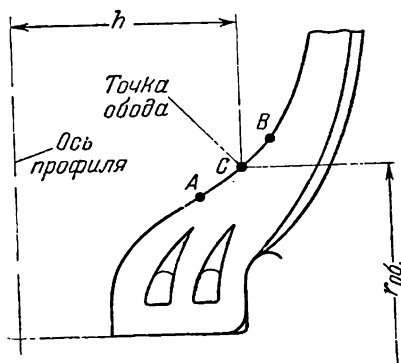


Рис. 65. К определению точки обода.

* Использование для расчета средней линии каркаса является более обоснованным, но расчет по внутреннему контуру практически более удобен и, как показывает практика, обеспечивает достаточную точность.

ру, для чего из наружного ее радиуса вычитают толщину протектора, брекера и каркаса. Затем, изображая на чертеже обода борт покрышки (см. рис. 65), определяют $r_{об.}$ —расстояние точки сопряжения профиля покрышки с ободом от оси вращения. Находят масштаб изображения искомого профиля на номограмме (рис. 66), равный отношению фактического радиуса R к радиусу экватора AO на номограмме

$$m = \frac{R}{AO}$$

Наносят на номограмме точку сопряжения профиля с ободом C по известному размеру $r_{об.}$ и расстоянию этой точки h от оси

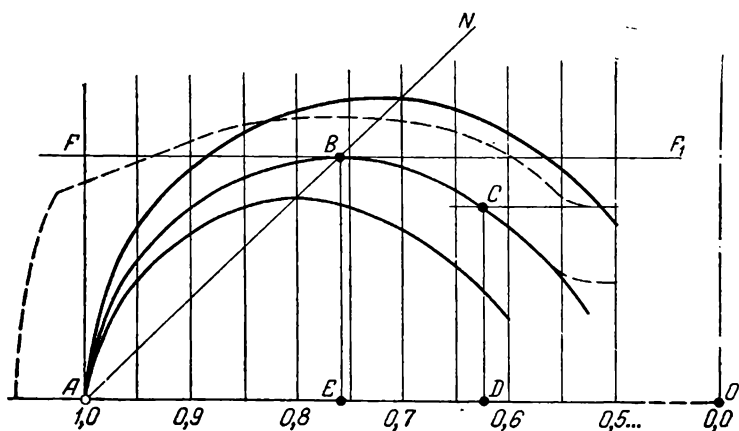


Рис. 66. К определению равновесной конфигурации шины.

симметрии профиля. Для этого на номограмме откладывают отрезки $OD = \frac{r_{об.}}{m}$ и $DC = \frac{h}{m}$.

Если через точку C проходит одна из кривых номограммы, то эта кривая и изображает внутренний контур каркаса покрышки (в масштабе m), в противном случае прибегают к интерполяции между двумя ближайшими к точке C кривыми (линия ABC на рис. 66).

Ширина равновесного профиля шины по внутреннему контуру каркаса определяется умножением на масштаб m удвоенного размера BE , взятого из номограммы.

Для того чтобы найти габаритную ширину профиля, надо к полученному размеру добавить удвоенную толщину каркаса и боковины.

Для решения второй задачи—определения размера обода, на котором может быть смонтирована шина с заданными габари-

тами, поступают следующим образом. Определяют по заданному R масштаб номограммы m и наносят на нее линию FF_1 на расстоянии AF , равном полуширине профиля покрывки по внутреннему контуру каркаса, деленной на масштаб m (рис. 66). Профиль покрывки изображается на номограмме той из кривых, которая касается линии FF_1 . Если ни одна из кривых линии не касается, прибегают к интерполяции. Интерполяция облегчается благодаря тому, что вершины нескольких соседних кривых на номограмме лежат приблизительно на одной прямой (AN).

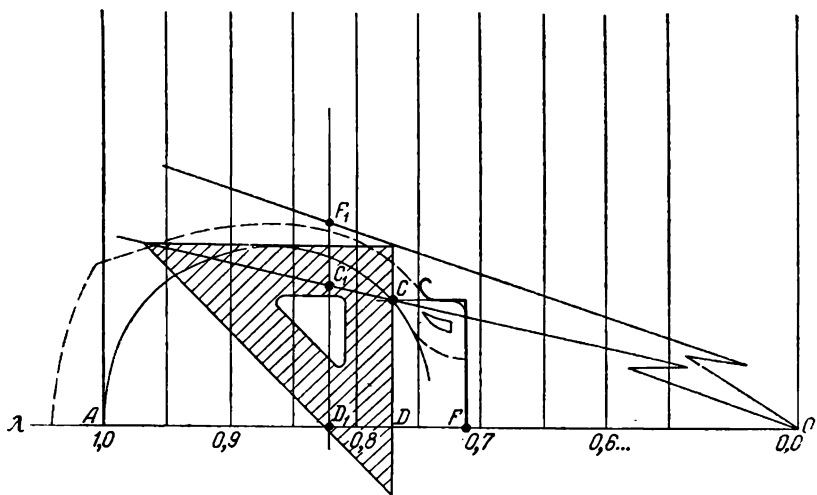


Рис. 67. К определению диаметра шины данной ширины, монтируемой на заданный обод.

Любая точка C на кривой ABC может быть принята теперь за точку сопряжения с ободом. Таким образом, можно по заданному диаметру обода найти необходимую его ширину или, наоборот, по ширине—диаметр.

Третья из задач, решаемых с помощью номограмм,—построение профиля по заданному размеру обода и ширине профиля отличается тем, что в этом случае масштаб номограммы заранее не известен, так как радиус экватора R подлежит определению. Решение задачи для этого случая приведено на рис. 67. Откладываем на оси λ от точки O в произвольном масштабе $r_{об.}$ —расстояние точки обода от оси вращения (отрезок OD_1 на рис. 67). На перпендикуляре, восстановленном из точки D_1 , откладываем в том же масштабе расстояние точки обода от оси симметрии профиля (D_1C_1) и половину ширины профиля по внутреннему контуру D_1F_1 . Проводим из точки O лучи через точки C_1 и F_1 . Если теперь, взяв прямоугольный треугольник, перемещать его так, чтобы вер-

шина прямого угла оставалась все время на луче OF_1 , а один из катетов был параллелен горизонтальной оси, то искомый профиль определится таким положением треугольника, при котором один из его катетов будет касательным к кривой, другой же будет проходить через точку C пересечения этой же кривой с лучом OC_1 . Масштаб, в котором представлен на номограмме искомый профиль, определяется делением расстояния h от оси симметрии профиля до точки обода на длину отрезка DC на номограмме $m = \frac{h}{DC}$. Радиус R экватора внутреннего контура каркаса определяется умножением размера OA номограммы на масштаб m .

Рассмотренные выше номограммы позволяют решить ряд задач, связанных с проектированием шины, имеющей после надувки заданные габариты. Однако эти номограммы неудобны для определения размеров надутой шины в зависимости от размеров вулканизационной формы. В этом случае расчет может быть выполнен только путем нескольких пробных вычислений. Номограммы не позволяют также оценить изменение размеров шины, связанное с удлинением нитей корда под действием внутреннего давления.

Причиной указанных затруднений является то, что номограммы построены для определенных значений угла нити корда β_k по экватору покрышки, тогда как при надувке шины величина этого угла меняется.

Перечисленные задачи могут быть решены, если использовать номограммы, в которых исходными параметрами являются такие размеры шины, которые не изменяются при надувке шины, или такие, изменение которых известно. Такими размерами являются длина нити корда в шине от точки обода до экватора, величины $r_{об.}$ и h —определяющие положение точки обода, и угол $\alpha_{об.}$ нити корда с меридианом в точке обода.

Новые номограммы, в которых исходными параметрами являются перечисленные величины, могут быть получены путем перестроения номограмм равновесных профилей.

Задавшись определенным значением угла $\alpha_{об.}$, можно нанести соответствующие вертикальные линии на номограммах. Действительно, расстояние такой линии от оси вращения шины легко определить по формуле:

$$r_{об.} = \frac{\sin \alpha_{об.}}{\sin \beta_k} R$$

где β_k —угол по экватору, для которого построена номограмма. Построение показано на рис. 68. Для точек пересечения проведенной вертикали с линиями номограммы определяют расстояние от оси симметрии h , полуширину соответствующего профиля b , отношение $\frac{r_0}{R} = \lambda_0$ и длину нити L от экватора до точки обода.

Полученные величины $\frac{L}{r_{об.}}$, $\frac{h}{r_{об.}}$ откладывают по осям координат (рис. 69), причем каждой из точек пересечения вертикали $\beta = \alpha_{об.}$ с профилями (см. рис. 68) соответствует определенная точка в координатах $\frac{L}{r_{об.}}$; $\frac{h}{r_{об.}}$.

Соединяя эти точки, получают в этих координатах кривую, соответствующую данному углу корда в точке обода и данному углу по короне β_k .

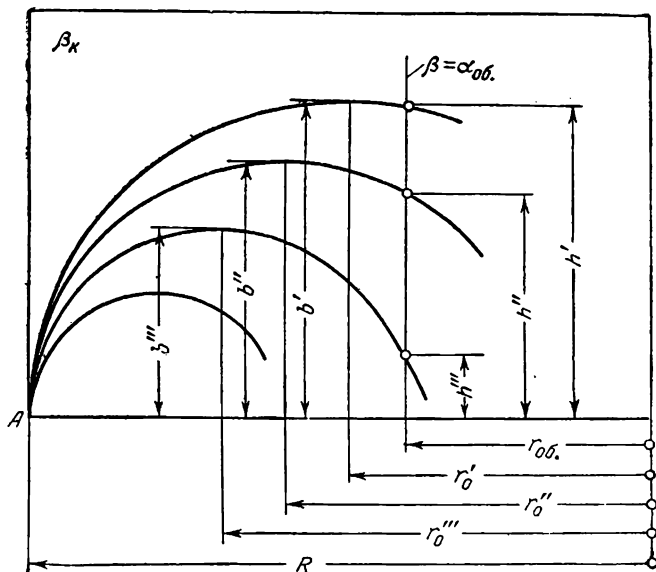


Рис. 68. Определение характерных размеров равновесных профилей, имеющих данные углы вити корда на экваторе и в точке обода.

На этой кривой можно отметить точки, соответствующие определенным значениям $\frac{b}{r_{об.}}$ и λ_0 .

Повторяя такое построение для разных углов по экватору β_k (используя различные номограммы), получают в координатах $\frac{L}{r_{об.}}$; $\frac{h}{r_{об.}}$ семейство кривых для данного угла $\alpha_{об.}$ и различных β_k .

Соединяя на этих кривых точки с одинаковыми значениями $\frac{b}{r_{об.}}$ и λ_0 , получают еще два семейства кривых (см. рис. 69). Таким образом получены перестроенные номограммы, приведенные в Приложении.

В следующем разделе рассмотрим применение этих номограмм для решения ряда практических задач.

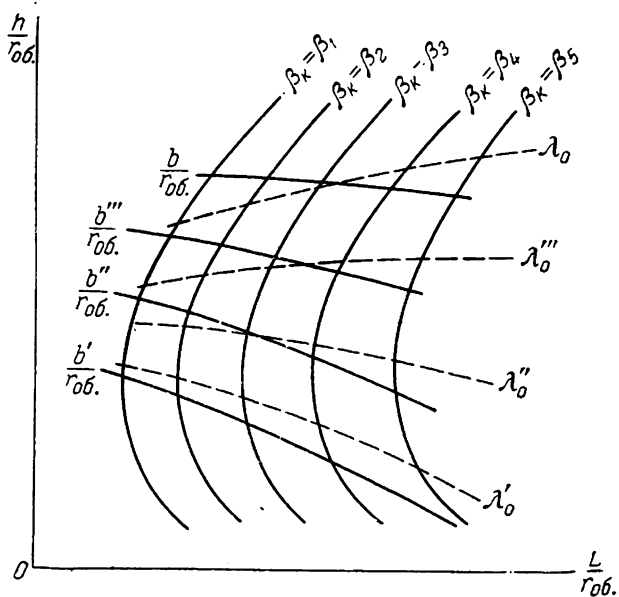


Рис. 69. Построение номограммы для данного значения угла нити корда в точке обода.

Определение равновесной конфигурации шины по известному профилю вулканизационной формы

Если задан профиль покрышки в вулканизационной форме и известен угол нити корда в форме по экватору β'_k , то определение равновесной конфигурации шины производится следующим образом:

1. На внутреннем контуре каркаса выбирается точка обода так, чтобы угол корда в этой точке равнялся одному из углов $\alpha_{об.}$, для которых построены номограммы. Расстояние точки обода от оси вращения определяется по формуле

$$r_{об.} = R' \frac{\sin \alpha_{об.}}{\sin \beta'_k}$$

где R' — радиус экватора по внутреннему контуру каркаса покрышки в вулканизационной форме. Из всех значений $\alpha_{об.}$, для которых построены номограммы, выбирается такое, чтобы точка обода попала на участок AB (см. рис. 65) внутреннего контура каркаса.

в 2. Определяется длина нити корда от экватора до точки обода шине, находящейся в вулканизационной форме:

$$L = \int_s \frac{ds}{\cos \beta}$$

причем для интегрирования используется один из приближенных способов (см. пример расчета).

3. На номограмму (рис. 69) для данного значения $\alpha_{об.}$ наносится точка, соответствующая отношению $\frac{L}{r_{об.}}$ (откладывается по оси абсцисс) и отношению $\frac{h}{r_{об.}}$ (откладывается на оси ординат).

Величина h представляет собой расстояние точки обода от оси симметрии профиля при монтаже покрышки на соответствующий обод.

4. Для полученной точки на номограмме определяются: угол по экватору надутой покрышки β_k , отношение $\frac{b}{r_{об.}}$ и λ_0 .

В случае, если точка на номограмме не попала на кривые, соответствующие значения определяются интерполяцией.

5. Определяется радиус R надутой покрышки по внутреннему контуру каркаса по экватору:

$$R = R' \frac{\sin \beta_k}{\sin \beta'_k} \quad (47)$$

Так как углы β_k и β'_k обычно близки друг к другу, то вместо формулы (47) удобнее пользоваться формулой

$$R = R' + R' \operatorname{ctg} \beta'_k \frac{\beta_k - \beta'_k}{57,3} \quad (48)$$

где углы выражены в градусах.

Из формулы (48) видно, что увеличение радиуса покрышки при надувке по сравнению с размером по вулканизационной форме составляет:

$$\Delta R = R' \operatorname{ctg} \beta'_k \frac{\beta_k - \beta'_k}{57,3} \quad (49)$$

Если угол в надутой покрышке β_k получается больше, чем угол корда по экватору покрышки в вулканизационной форме, то ΔR положительно и покрышка под действием внутреннего давления раздувается по диаметру. В противном случае покрышка садится.

6. Определяется ширина $2b$ профиля покрышки по внутреннему контуру:

$$2b = 2r_{об.} \left(\frac{b}{r_{об.}} \right)$$

7. Определяется расстояние от оси вращения до самого широкого места профиля надутой покрышки:

$$r_0 = \lambda_0 R$$

8. Определяются наружные габаритные размеры надутой шины (рис. 70).

Наружный диаметр:

$$D = D' + 2\Delta R$$

где D' —наружный диаметр покрышки по форме, а ΔR определяется по формуле (49).

Ширина профиля:

$$B = 2b + 2t$$

где t —толщина стенки покрышки по боковине.

Полученные размеры полностью определяют габариты покрышки. Они позволяют также определить усилия в нитях корда, возникающие при воздействии внутреннего давления. Расчет справедлив в том случае, если удлинение нитей корда под действием внутреннего давления мало отличается от упругого удлинения их при нахождении

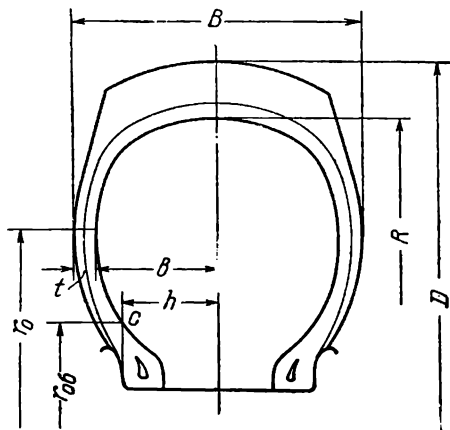


Рис. 70. К определению габаритов надутой шины.

покрышки в вулканизационной форме. Практически это условие выполняется при нормальном внутреннем давлении для шин, изготовленных из хлопкового или вискозного корда.

Как показывает опыт применения изложенного метода в шинной промышленности, расчетная ширина надутой шины совпадает с действительной с точностью 2—3 мм, а расчетное изменение диаметра шины при надувке несколько больше, чем действительное.

В этом случае играет роль значительная жесткость резины в протекторной части шины, препятствующая установлению равновесной конфигурации. В процессе вулканизации шин из полиамидного корда упругие удлинения нитей почти полностью релаксируют и при надувке длина нитей увеличивается по сравнению с длиной нитей в вулканизационной форме.

Поэтому для определения размеров покрышек из полиамидного корда, а также для определения габаритов покрышек в момент разрыва гидростатическим давлением необходимо учитывать удлинение нитей корда. Методы учета этих удлинений рассмотрены ниже.

Определение усилий в нитях корда

Используя результаты, полученные в разделе «Резино-кордные сетчатые конструкции и их свойства», можно определить усилия, возникающие в элементах шины при воздействии внутреннего давления.

Подставляя значение $\cos \varphi$ по формуле (45) в уравнение (42), найдем интенсивность меридионального усилия:

$$T_m = \frac{\rho (R^2 - r_i^2) \cos \beta_k}{2r \cos \beta} \quad (50)$$

С другой стороны, интенсивность усилия T_m связана с усилиями в нитях корда формулой (28). Учитывая, что при воздействии внутреннего давления нити корда нечетных и четных слоев одинаково напряжены ($N_1 = N_2 = N$), можно записать формулу (28) в виде

$$T_m = Nni \cos^2 \beta$$

откуда усилие в нити корда

$$N = \frac{\rho (R^2 - r_0^2) \cos \beta_k}{2rni \cos^2 \beta}$$

где частота нитей i и угол нити β берутся в точке на расстоянии r от оси вращения, в которой вычисляется усилие. Заменяя i , в соответствии с формулой (8):

$$i = i_k \frac{R}{r} \cdot \frac{\cos \beta_k}{\cos \beta}$$

получим:

$$N = \rho \frac{R^2 - r_0^2}{2Rni_k} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad (51)$$

Формула (51) определяет усилие в нити корда в произвольной точке профиля. В нее входят размеры R , r_0 равновесной конфигурации шины, которые вычисляются методами, изложенными выше.

Величина ni_k представляет собой произведение частоты нитей корда по экватору на число слоев.

Если плотности разных слоев различны, то это произведение должно быть заменено суммой частот нитей корда во всех слоях по экватору Σi_k . В этом случае

$$N = \rho \frac{R^2 - r_0^2}{2R\Sigma i_k} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad (52)$$

Для шины без тканевого брекера количество слоев одинаково в любой точке профиля. При этом все величины, входящие в формулу (52), кроме множителя $\frac{1}{\cos^2 \beta}$, будут постоянными и усилие в нити будет изменяться так же, как этот множитель. Оно достигает максимума в точках экватора покрышки, причем

$$N_{\max} = \rho \frac{R^2 - r_0^2}{2R\Sigma i_k} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta_k} \quad (53)$$

и уменьшается к бортам. Эюра изменения усилия в нити по профилю покрышки представлена на рис. 71, а.

При использовании формулы (52) для расчета покрышки с тканевым брекером следует брать сумму частот нитей всех слоев, включая брекер при расчете напряжений от экватора до конца брекера, и сумму частот основных слоев каркаса при расчете напряжений в остальных точках профиля.

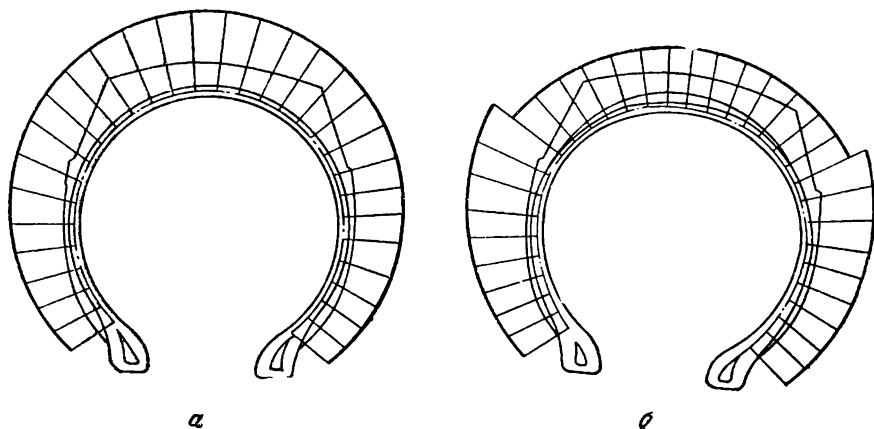


Рис. 71. Изменение усилия в нити корда по профилю шины:
а—без кордного брекера; б—с кордным брекером.

В этом случае эюра изменения усилий в нити по профилю покрышки будет иметь вид, представленный на рис. 71, б. Максимальные усилия могут иметь место либо по экватору (они опреде-

ляются по формуле (53), причем в выражении Σi_k учитывается и брекер), либо в точке, где кончается брекер (расчет проводится по формуле (52), в которую подставляется значение угла корда в соответствующей точке и сумма частот нитей по экватору только основных слоев).

Величина усилия в нити для точки, где кончается брекер, существенна только при расчете разрушающего шину гидростатического давления; при расчете, проводимом с целью выбора необходимого числа слоев корда, используется лишь усилие по экватору, определяемое по формуле (53).

Отношение статического разрывного усилия для нити корда $N_{\text{ра.р.}}$ к усилию N_{max} , возникающему в нити при нормальном эксплуатационном давлении, называют обычно запасом прочности.

Следует отметить, что это отношение $\frac{N_{\text{разр.}}}{N_{\text{max}}}$ не является, строго говоря, запасом прочности, поскольку нагрузка внутренним давлением никогда не выводит шину из строя в эксплуатации.

Это отношение следует рассматривать как коэффициент, характеризующий подобие шин (см. стр. 163). При проектировании новых шин число слоев корда выбирают таким образом, чтобы отношение $\frac{N_{\text{разр.}}}{N_{\text{max}}}$ лежало в определенных, установленных практикой пределах (см. гл. III, стр. 197).

Усилия в бортовых кольцах

На бортовые кольца передаются усилия с кордных слоев каркаса. Можно показать, что при отсутствии сил трения между бортом и закраиной обода интенсивность меридионального усилия в каркасе около бортового кольца определяется по формуле (50), в которой под β следует понимать угол нити корда с меридианом на окружности радиуса $r = r_c$ (рис. 72, а). Тогда, рассматривая равновесие полукольца (рис. 72, б), найдем, что усилие в борте составляет:

$$P_0 = T_m r_c = p \frac{R^2 - r_c^2}{2 \cos \beta_c} \cos \beta_k \quad (54)$$

Приведенная формула определяет усилие в борте без учета усилий, возникающих вследствие натяга на обод, и без учета сил трения между ободом и бортом.

Силы трения несколько уменьшают усилие в борте*. Это уменьшение можно подсчитать по формуле

$$\Delta P = kp \frac{r_0^2 - r_c^2}{2}$$

* Влиянием сил трения объясняется расхождение между расчетными усилиями в кольцах и усилиями, измеренными экспериментально¹⁵.

где $k=0,2-0,4$ —коэффициент трения. Однако при расчете бортовых колец величину ΔP не следует принимать во внимание, так как при качении шины за счет небольших перемещений бортовой части шины силы трения уменьшаются и нагрузка на кольца увеличивается.

При посадке шины на обод с натягом в кольцах возникают дополнительные усилия. Эти усилия при большом натяге могут быть очень значительными. В случае неправильной конструкции эти усилия могут вызвать разрыв кольца при монтаже шины.

Рассмотрим усилия, возникающие в борте шины, смонтированной на обод с натягом. В смонтированной и надутой шине на борт

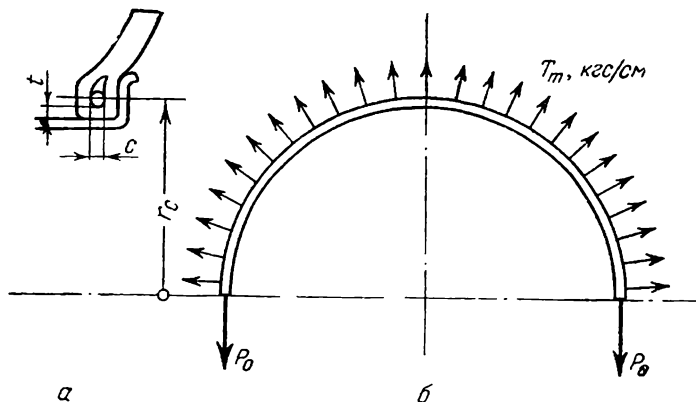


Рис. 72. К определению усилий в бортовых кольцах: а—борт шины; б—равновесие полукольца.

по всей окружности действует усилие в каркасе интенсивности T_m , определяемое по формуле (50), и давление со стороны обода q (в кгс/см^2), которое считаем распределенным по подошве борта на ширине кольца.

Если пренебречь деформацией обода, то под действием усилий T_m и q посадочный диаметр шины изменяется на величину натяга δ^* . Изменение посадочного диаметра связано с растяжением Δr_c проволочного кольца со сжатием Δt материала под кольцом:

$$\delta = 2\Delta r_c + 2\Delta t \quad (55)$$

Суммарное усилие, растягивающее кольцо, составляет:

$$P = P_0 + qbr_c \quad (56)$$

* Под δ понимается разница между диаметром обода и посадочным диаметром покрышки под кольцом по вулканизационной форме в соответствующей точке.

где P_0 —усилие в кольце, вызываемое натяжением нитей корда, которое определяется по формуле (54).

Изменение радиуса кольца в связи с его растяжением находят по формуле

$$\Delta r_c = \frac{P}{EF} r_c$$

где F —суммарная площадь сечения проволок в кольце, E —их модуль упругости.

Изменение толщины материала под кольцом можно определить по формуле

$$\Delta t = \frac{qt}{E_1}$$

где t —толщина материала под бортом, E_1 —средний модуль сжатия этого материала.

Подставляя значения Δr_c и Δt в формулу (55), найдем интенсивность давления шины на полку обода:

$$q = \frac{E_1}{t} \left(\frac{\delta}{2} - \Delta r_c \right) = \frac{E_1}{t} \left(\frac{\delta}{2} - \frac{P}{EF} r_c \right)$$

Подставляя эту величину в формулу (56), получим:

$$P = P_0 + \frac{E_1 b r_c}{t} \left(\frac{\delta}{2} - \frac{P}{EF} r_c \right)$$

откуда полное усилие в борте:

$$P = \frac{P_0 + \frac{E_1 b r_c}{2t} \delta}{1 + \frac{E_1 b r_c^2}{EFt}}$$

Как показывают расчеты, величина $\frac{E_1 b r_c^2}{EFt}$ обычно мала в сравнении с единицей, и приближенно, с некоторым запасом, усилие в борте можно рассчитывать по более простой формуле:

$$P = P_0 + \frac{E_1 b r_c}{2t} \delta \quad (57)$$

Средний модуль упругости материала под бортом E_1 зависит от жесткости резины и корда, отношения полной толщины t к суммарной толщине кордных слоев под кольцом и от отношения $\frac{b}{t}$.

С увеличением отношения $\frac{b}{t}$ и уменьшением резиносодержания значение E_1 увеличивается.

Величину E_1 можно определять опытным путем посредством сжатия пластины материала, вырезанной из-под кольца. Ориентировочно можно принимать

$$E_1 = 300 \div 500 \text{ кгс/см}^2$$

После того как усилие в борте P по формуле (57) определено, можно найти и напряжение в проволоке по формуле

$$\sigma = \frac{P}{n_1 f} \quad (58)$$

где n_1 —число проволок в борте*, f —площадь поперечного сечения одной проволоки в мм^2 .

Запас прочности k_n проволоки определяется как отношение

$$k_n = \frac{\sigma_B}{\sigma}$$

где σ_B —временное сопротивление проволоки при разрыве.

Рекомендуемые значения запаса прочности приведены в гл. III стр. 198.

Определение конфигурации надутой шины и усилий в ее элементах с учетом удлинения нитей корда

Приведенные выше методы расчета размеров надутой шины по конфигурации вулканизационной формы основаны на гипотезе об одинаковом удлинении нити корда при вулканизации и надувке.

Как уже указывалось, эти методы достаточно точны для определения габаритов покрышек, изготовленных из хлопчатобумажного или вязкого корда, при нормальном давлении.

Для расчета габаритов этих же покрышек при нагружении гидростатическим давлением до разрыва, а также для расчета покрышек из полиамидного корда необходимо учитывать удлинения нитей корда.

Изменение усилия по длине нити корда определяется формулой (52), графически оно показано на рис. 71 (стр. 84). Зная усилия, можно по характеристике растяжения корда определить и соответствующее его удлинение.

Поскольку усилие неравномерно распределено по длине нити, то и деформация нити тоже различна в различных точках. Она максимальна по экватору и уменьшается с удалением от него;

* Обычно в расчет вводится число оборотов проволоочной ленты, уменьшенное на единицу, чтобы учесть ослабление кольца стыком.

в точке, где кончается брекер, деформации увеличиваются и затем постепенно уменьшаются к борту.

Если бы удлинение нити было равномерным, то для расчета можно было бы применить ту же методику, которая изложена выше, следовало бы лишь учесть, что длина нити в наддутой покрывке больше, чем в покрывке, находящейся в вулканизационной форме, а угол в точке обода меньше в соответствии с величиной удлинения нити.

Переменная по длине нити величина удлинения сильно осложняет дело.

Однако, учитывая, что удлинения нити оказывают небольшое влияние на форму покрывки, можно для определения этого влияния применить приближенный метод.

Предположим, что деформация постоянна и соответствует среднему по длине нити усилию

$$\bar{N} = \frac{1}{L} \int_L N dl$$

где интегрирование выполняется по длине нити от обода до экватора, а $L = \int_s \frac{ds}{\cos \beta}$ — длина нити корда. Подставляя в формулу для

среднего усилия значения $N = N_{\max} \frac{\cos^2 \beta_k}{\cos^2 \beta}$ [см. формулы (51) и (52)]

и переходя к интегрированию по профилю s ($dl = \frac{ds}{\cos \beta}$), получим

$$\bar{N} = N_{\max} \frac{\cos^2 \beta_k}{L} \int_s \frac{ds}{\cos^3 \beta} \quad (59)$$

где N_{\max} — усилие в нити по экватору, а интеграл берется по профилю покрывки от точки обода до экватора. Формула (59) справедлива в том случае, если покрывка не имеет кордного брекера. При наличии последнего следует использовать формулу

$$N = N_{\max} \frac{\cos^2 \beta_k}{L} \left[\frac{\Sigma i_k}{\Sigma i'_k} \int_s \frac{ds}{\cos^3 \beta} - \frac{\Sigma i_k - \Sigma i'_k}{\Sigma i'_k} \int_{s_1} \frac{ds}{\cos^3 \beta} \right] \quad (59a)$$

где $\Sigma i'_k$ — сумма частот нитей корда по экватору только основных слоев каркаса, Σi_k — включая брекер; первый интеграл в скобках берется по всему контуру каркаса от экватора до точки обода, второй — по подбрекерной части каркаса.

После вычисления среднего усилия \bar{N} по формуле (59) определяется по характеристике растяжения нити соответствующее относительное удлинение $\bar{\epsilon}$. Характеристики растяжения некоторых кордов приведены на рис. 73.

Длина нити от точки обода до экватора в надутой шине принимается равной

$$L_1 = L(1 + \bar{\varepsilon})$$

где L —длина нити без учета удлинения.

Угол нити корда в точке обода надутой шины находится из равенства

$$\sin \alpha_{об.1} = \frac{\sin \alpha_{об.}}{1 + \varepsilon}$$

где $\alpha_{об.1}$ —угол в той же точке, подсчитанный без учета удлинения нити.

Если величина $\alpha_{об.1}$ получается такой, что для нее нет номограммы, то точка обода несколько смещается, чтобы $\alpha_{об.1}$ было равно 26° , 28° , 30° и т. д.

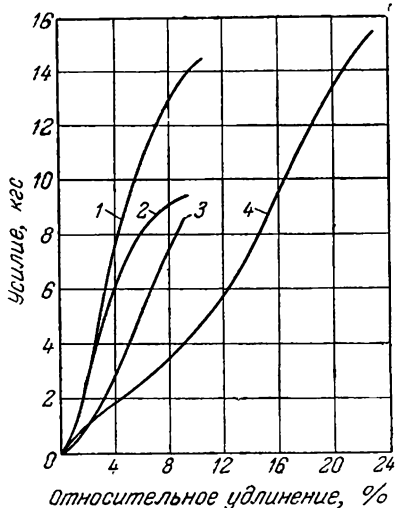
При подсчете \bar{N} и $\bar{\varepsilon}$ формулу (59) вносится усилие N_{max} , определенное для равновесной конфигурации шины без учета удлинения нитей.

Если конфигурация с учетом удлинения нитей будет значительно отличаться от конфигурации ее без этого учета, то значение усилия в нити должно быть уточнено и расчет повторен (практически необходимость в таком повторном расчете обычно не возникает). Для расчета разрушающего шину гидростатического давления необходимо предварительно определить ее конфигурацию при разрушении. В этом случае при подсчете среднего удлинения максимальное усилие (по экватору или в точках, где кончается брекер) принимается равным разрушающему усилию для нити корда.

После определения конфигурации шины с учетом удлинения нити можно рассчитать

Рис. 73. Характеристики растяжения шинных кордов:

1—корд 14В; 2—10В; 3—9Т; 4—14К.



усилия в ее элементах. При этом в соответствующие формулы подставляются все размеры для надутой шины.

Числовой пример

Определить габаритные размеры надутой покрышки 9,00—20 на корде 9Т при угле корда по экватору 52° (в вулканизационной форме).

Определить усилия в нитях корда и в бортовых кольцах.

Найти величину гидростатического давления, разрушающего шину.

Профиль шины по вулканизационной форме представлен на рис. 74, наружный диаметр—1022 мм. Диаметр шины по внутреннему контуру $2R'=953$ мм.

Выбираем точку обода. В качестве этой точки предварительно принимаем точку A на рис. 74, находящуюся на расстоянии 312 мм от оси вращения. Синус угла нити корда в этой точке равен

$$\sin \beta_A = \frac{r_A}{R'} \sin \beta_K = \frac{312 \cdot 0,787}{476,5} = 0,515$$

откуда $\beta_A = 31^\circ$.

Так как для этого значения угла в точке обода номограмма отсутствует, то в качестве расчетного угла принимаем $\alpha_{об} = 30^\circ$.

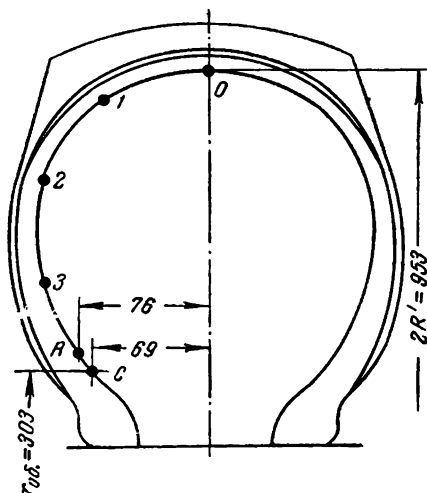


Рис. 74. Профиль покрышки 9,00—20.

Находим расстояние точки обода от оси вращения:

$$r_{об} = \frac{\sin \alpha_{об}}{\sin \beta_K} R' = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 52^\circ} \cdot 476,5 = 303 \text{ мм}$$

Наносим точку обода на чертеж профиля шины (точка C на рис. 74).

Измеряем расстояние точки обода от оси симметрии профиля: $h=69$ мм.

Определяем длину нити корда от точки обода до экватора по формуле

$$L = \int \frac{ds}{\cos \beta}$$

пользуясь формулой Симпсона при четырех интервалах.

С этой целью, установив измеритель на раствор 10 мм, измеряем длину контура от экватора до точки обода. Получаем $s=240$ мм.

Наносим на чертеж точки, соответствующие делению дуги на четыре равные части по $\Delta s=60$ мм (точки 1, 2, 3 на рис. 74). Измеряем расстояния каждой из точек деления от оси вращения и определяем для каждой точки величину

$$\frac{1}{\cos \beta_i}, \text{ учитывая, что } \sin \beta_i = \frac{r_i}{R'} \sin \beta_K.$$

При вычислении $\frac{1}{\cos\beta}$ удобно пользоваться номограммой (рис. 48), описанной ранее (см. стр. 54). Для этого вычисляются отношения δ расстояния каждой точки от оси вращения к некоторой условной величине R_0 (принято $R_0=300$ мм). Затем значение угла корда по экватору $\beta_k=52^\circ$ на крайней правой шкале номограммы соединяется со значением $\delta=1,59$ для экватора, взятым на второй справа шкале, и получается засечка на вспомогательной шкале. Проводя прямые через эту засечку и значения δ для каждой из точек, получаем на крайней правой шкале соответствующие значения $k_i = \frac{1}{\cos\beta_i}$. Эти значения приведены в табл. 1. В этой же таблице приведены значения $k_i^3 = \frac{1}{\cos^3\beta_i}$, необходимые для учета удлинения нитей корда.

Таблица 1

Определение длины нити корда

Точка	r, мм	δ = $\frac{r}{300}$	k _i = $\frac{1}{\cos\beta_i}$	k _i ³ = $\frac{1}{\cos^3\beta_i}$
Экватор	476,5	1,59	1,62	4,25
1	461	1,54	1,55	3,74
2	416	1,39	1,38	2,63
3	356	1,19	1,24	1,90
Точка обода C	303	1,01	1,16	1,56

Длина нити определяется по формуле Симпсона:

$$L = \frac{\Delta s}{3} (k_k + 4k_1 + 2k_2 + 4k_3 + k_{об.}) =$$

$$= \frac{60}{3} (1,62 + 4 \cdot 1,55 + 2 \cdot 1,38 + 4 \cdot 1,24 + 1,16) = 334 \text{ мм.}$$

Вычисляем отношения:

$$\frac{L}{r_{об.}} = \frac{334}{303} = 1,10; \quad \frac{b}{r_{об.}} = \frac{69}{303} = 0,228$$

Наносим соответствующую точку на номограмму равновесной конфигурации для $\alpha_{об.}=30^\circ$ (рис. 75, точка А).

Интерполяцией по номограмме находим для этой точки значения угла корда по экватору в надутой покрышке, значение $\frac{b}{r_{об.}}$ и λ_0 :

$$\beta_k = 51,2^\circ; \quad \frac{b}{r_{об.}} = 0,356; \quad \lambda_0 = 0,796$$

Определяем размеры надутой покрышки: изменение радиуса экватора

$$\Delta R = R' \operatorname{ctg} \beta'_k \frac{\beta_k - \beta'_k}{57,3} = 476,5 \operatorname{ctg} 52^\circ \frac{51,2 - 52}{57,3} = -5,2 \text{ мм}$$

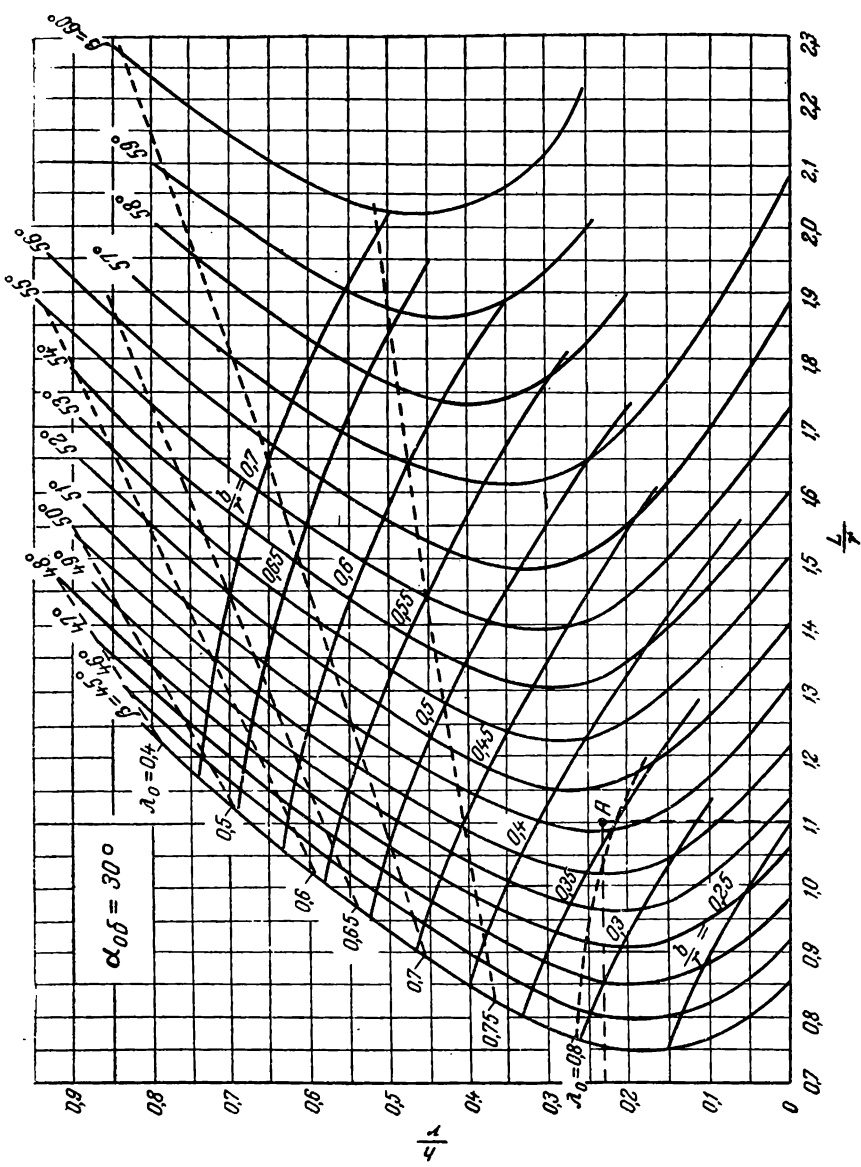


Рис. 75. Определение параметров надугтой шины по номограмме (к примеру расчета).

радиус экватора по внутреннему контуру каркаса

$$R = R' + \Delta R = 476,5 - 5,2 = 471,3 \text{ мм}$$

наружный диаметр надутой шины

$$D = D' + 2\Delta R = 1022 - 2 \cdot 5,2 = 1012 \text{ мм}$$

Расстояние наиболее широкого места профиля от оси вращения:

$$r_0 = \lambda_0 R = 0,796 \cdot 471,3 = 376 \text{ мм}$$

Ширина профиля по внутреннему контуру каркаса:

$$2b = 2r_{об.} \left(\frac{b}{r_{об.}} \right) = 2 \cdot 303 \cdot 0,356 = 216 \text{ мм}$$

Ширина профиля по наружному контуру:

$$B = 2b + 2t = 216 + 2 \cdot 14,5 = 245 \text{ мм}$$

Определение усилия в нитях корда по экватору производится по формуле (53). Все размеры, входящие в эту формулу, уже определены и следует подставить в нее лишь величину давления и Σi_k , т. е. сумму частот нитей всех слоев корда по экватору.

Учитывая как слои корда, так и брекер, получим для покрывки 9,00—20:

$$\Sigma i_k = 8i'_k + 2i''_k + 2i'''_k$$

где i'_k —частота нитей по экватору слоев корда 9Т (8 слоев);

i''_k —частота нитей по экватору слоев разреженного корда 94Т (2 слоя);

i'''_k —частота нитей корда брекера 923Т (2 слоя).

Частота нитей корда по экватору определяется в зависимости от исходной частоты i_0 и угла закроя α по формуле (7):

$$i_k = i_0 \frac{D_{бр.}}{2R} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta_k}$$

где $D_{бр.}$ —диаметр браслета.

Для I—8-го слоев корда 9Т $i_0 = 9,4$ нитей/см, диаметр браслета $D_{бр.} = 630$ мм (в среднем), угол закроя $\alpha = 33^\circ$

$$i'_k = 9,4 \cdot \frac{630}{2 \cdot 471,3} \cdot \frac{\cos 33^\circ}{\cos 51,2^\circ} = 8,4 \text{ нитей/см}$$

аналогично получаем

для 9-го, 10-го слоев корда 94Т

$$i_0 = 7,0 \text{ нитей/см}; \quad i''_k = 6,3 \text{ нитей/см}$$

для брекерного корда

$$i_0 = 4,6 \text{ нитей/см} \quad i'''_k = 4,1 \text{ нитей/см}$$

Таким образом

$$\Sigma i_k = 8 \cdot 8,4 + 2 \cdot 6,3 + 2 \cdot 4,6 = 87,7 \text{ нитей/см}$$

Усилие в нити по экватору:

$$N_{\max} = \frac{4,5(47,13^2 - 37,6^2)}{2 \cdot 47,13 \cdot 87,8 \cos^2 51,2^\circ} = 1,14 \text{ кгс}$$

Как следует из диаграммы растяжения корда 9Т (см. рис. 73), усилию в 1,14 кгс соответствует удлинение нити примерно на 3%.

Так как эта величина достаточно мала и почти совпадает с величиной упругого удлинения нити в покрывке, находящейся в вулканизационной форме, проведенный расчет без учета удлинения нитей корда достаточно обоснован.

Отношение разрывного усилия для нити (9 кгс) к усилию, возникающему при нормальном внутреннем давлении:

$$\frac{N_{\text{рзр.}}}{N_{\max}} = \frac{9}{1,14} = 8,0$$

Усилие P_0 в бортовом кольце определяется по формуле (54):

$$P_0 = \rho \frac{R^2 - r_0^2}{2 \cos \beta_c} \cos \beta_k = 4,5 \cdot \frac{47,13^2 - 37,6^2}{2 \cos 28^\circ} \cos 51,2^\circ = 1300 \text{ кгс}$$

В борту имеются 72 проволоки диаметром 1 мм. Площадь сечения проволоки равна:

$$f = 0,785 \text{ мм}^2$$

Напряжение в проволоке:

$$\sigma = \frac{P_0}{n_1 f} = \frac{1300}{72 \cdot 0,785} = 23,3 \text{ кгс/мм}^2$$

Запас прочности проволоки:】

$$\frac{\sigma_b}{\sigma} = \frac{140}{23,3} = 6,0$$

Для определения разрушающего давления нужно предварительно найти конфигурацию шины перед разрывом с учетом удлинения нитей корда.

Поскольку шина имеет брекер, для вычисления среднего усилия в нити воспользуемся формулой (59а). Вместо N_{\max} подставляем разрушающее усилие для корда 9Т—9 кгс.

Сумма плотностей по экватору всех слоев и брекера была вычислена выше: $\Sigma i_k = 87,8$ нитей/см. Сумма плотностей только слоев каркаса составляет $\Sigma i'_k = 79,6$ нитей/см. Формула (59а) дает в этом случае

$$\bar{N} = \frac{N_{\max} \cos^2 52^\circ}{L} \left[1,1 \int_s \frac{ds}{\cos^3 \beta} - 0,1 \int_{s_1} \frac{ds}{\cos^3 \beta} \right]$$

Первый интеграл в скобках вычисляем по формуле Симпсона, воспользовавшись данными табл. 1:

$$\begin{aligned} \int_s \frac{ds}{\cos^3 \beta} &= \frac{\Delta s}{3} [k_k^3 + 4k_1^3 + 2k_2^3 + 4k_3^3 + k_{об.}^3] = \\ &= \frac{60}{3} [4,25 + 4 \cdot 3,74 + 2 \cdot 2,63 + 4 \cdot 1,90 + 1,56] = 673 \text{ мм} \end{aligned}$$

Длина подбрекерного участка каркаса s_1 составляет 90 мм. На этом участке величина $\frac{1}{\cos^3 \beta}$ меняется незначительно, и в среднем можно принять $k^3 = \frac{k_k^3 + k_1^3}{2} = 4,0$; тогда

$$\int_{s_1} \frac{ds}{\cos^3 \beta} = 90 \cdot 4 = 360 \text{ мм}$$

В результате получаем:

$$\bar{N} = \frac{9 \cdot 0,615^3}{334} (1,1 \cdot 673 - 0,1 \cdot 360) = 7,2 \text{ кгс}$$

Относительное удлинение нити корда при этом усилии $\bar{\epsilon}$, найденное по характеристике растяжения, составляет около 10%.

Находим угол нити корда α_C с меридианом в точке обода С с учетом растяжения нити:

$$\sin \alpha_C = \frac{\sin 30^\circ}{1 + \bar{\epsilon}} = \frac{0,5}{1,1} = 0,455$$

откуда $\alpha_C = 27^\circ$.

Так как номограмма для $\alpha_{об.1} = 27^\circ$ отсутствует, принимаем для расчета $\alpha_{об.1} = 28^\circ$ и находим на профиле шины точку, в которой имеет место такой угол с учетом растяжения нити

$$r_{об.1} = \frac{R' (1 + \bar{\epsilon}) \sin \alpha_{об.1}}{\sin \beta'_k} = \frac{476,5 \cdot 1,1 \sin 28^\circ}{\sin 52^\circ} = 312 \text{ мм}$$

Соответствующая точка на рис. 74 совпала с точкой А. Эта точка отстоит от оси симметрии профиля на расстоянии $h_1 = 76$ мм.

Определяем длину нити корда от экватора до точки А. Если не учитывать удлинения, эта длина меньше, чем уже вычисленная длина (334 мм) до точки С, на величину $\frac{AC}{\cos \beta}$.

Отрезок АС равен 10 мм, а угол нити корда на этом отрезке β может быть принят равным углу в точке С, т. е. 30° .

Таким образом, без учета удлинения нить корда от экватора до точки А имеет длину

$$L = 334 - \frac{10}{\cos 30^\circ} = 322,5 \text{ мм}$$

С учетом удлинения

$$L_1 = L (1 + \bar{\epsilon}) = 322,5 \cdot 1,1 = 355 \text{ мм}$$

Находим отношения:

$$\frac{L_1}{r_{об.1}} = \frac{355}{312} = 1,14; \quad \frac{h_1}{r_{об.1}} = \frac{76}{312} = 0,243$$

Наносим соответствующую точку на номограмму для угла $\alpha_{об.1} = 28^\circ$ (точка А на рис. 76).

Интерполяцией по номограмме находим:

$$\beta_{k_1} = 48^\circ 50'; \quad \lambda_0 = 0,79$$

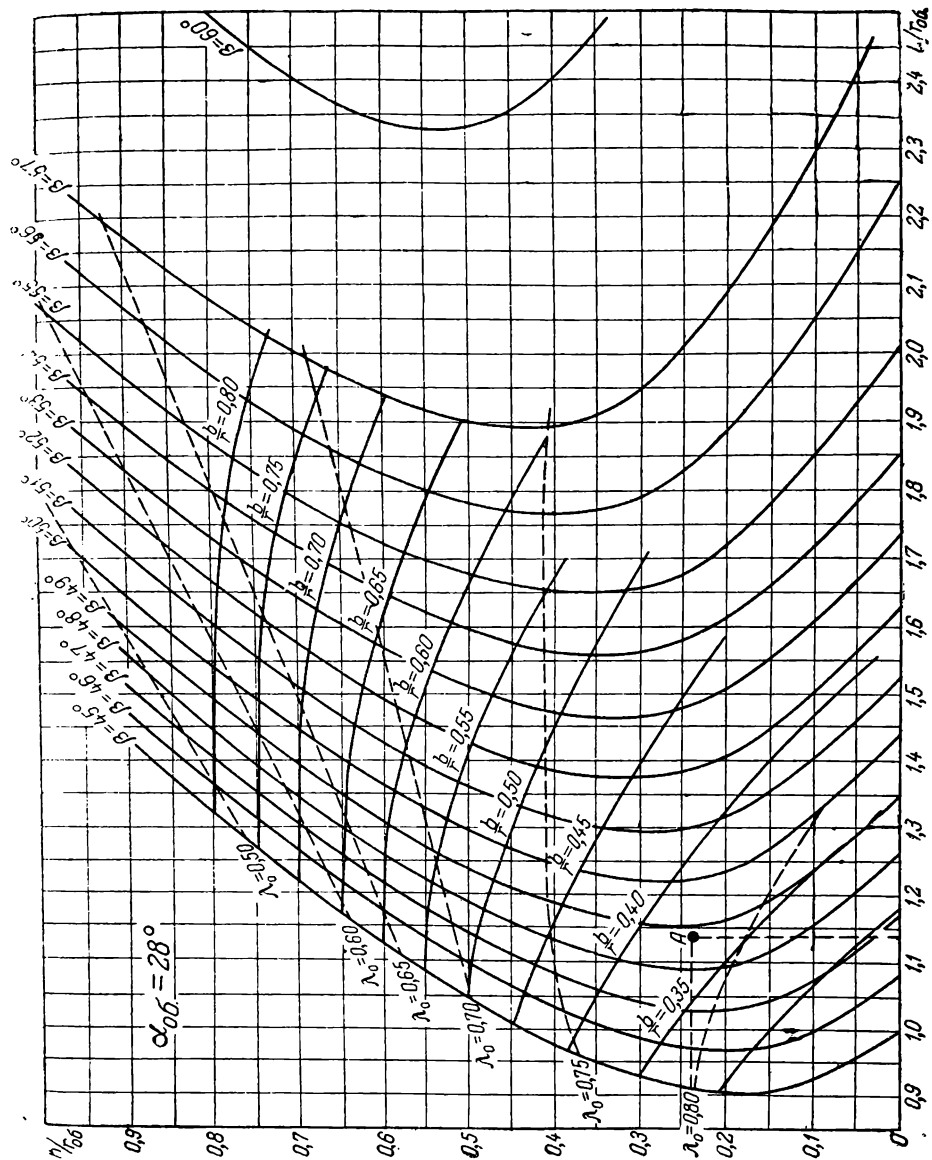


Рис. 76. Определение конфигурации шины с учетом удлинения нитей корда.

Таким образом, в момент разрыва покрышка будет иметь угол по экватору $\beta_{к1} = 48^{\circ}50'$ и радиус по экватору (по внутреннему контуру каркаса):

$$R_1 = r_{об.} \frac{\sin \beta_{к1}}{\sin \alpha_{об.1}} = 312 \frac{\sin 48^{\circ}50'}{\sin 28^{\circ}} = 500 \text{ мм}$$

Нулевой радиус шины (расстояние от оси вращения до наиболее широкого места профиля шины):

$$r_{0_1} = \lambda_0 R_1 = 0,79 \cdot 500 = 395 \text{ мм}$$

Разрушающее шину давление p_b можно теперь определить по формуле (53), в левую часть которой следует подставить разрывное усилие в нити корда $N_{разр.}$, а в правую—найденные выше размеры шины.

Таким образом, получим:

$$p_b = \frac{2R_1 (\Sigma i_k)_1 \cos^2 \beta_{к1}}{R_1^2 - r_{0_1}^2} N_{разр.}$$

При пользовании этой формулой надо учесть, что вследствие удлинения нитей частота нитей по экватору изменяется и величина $(\Sigma i_k)_1$ для шины в момент разрыва связана с Σi_k для шины по форме зависимости

$$(\Sigma i_k)_1 = \Sigma i_k \frac{R}{R_1} \cdot \frac{\cos \beta_k}{\cos \beta_{к1}}$$

В данном случае

$$(\Sigma i_k)_1 = 87,8 \cdot \frac{471,3}{500} \cdot \frac{\cos 51^{\circ}12'}{\cos 48^{\circ}50'} = 79 \text{ нитей/см}$$

Подставляя эту и другие величины в формулу для p_b , найдем разрушающее каркас шины давление*:

$$p_b = \frac{2 \cdot 500 \cdot 79 \cos^2 48^{\circ}50'}{500^2 - 395,5^2} \cdot 9 = 33 \text{ кгс}$$

Отношение разрушающего гидростатического давления к нормальному эксплуатационному составляет:

$$\frac{p_b}{p} = \frac{33}{4,5} = 7,35$$

Эта цифра на 8% ниже, чем отношение разрывного усилия в нити к усилию, вызванному нормальным внутренним давлением. Разница между этими цифрами обусловлена изменением размеров шины вследствие удлинения нитей корда.

РАДИАЛЬНОЕ ОБЖАТИЕ И СВОБОДНОЕ КАЧЕНИЕ ШИНЫ

В предыдущем разделе рассматривалась осесимметричная деформация шины при действии внутреннего давления. Этот вопрос получил исчерпывающее решение благодаря применению теории равновесных конфигураций резино-кордных оболочек.

* Действительное разрушающее давление несколько ниже вычисленной величины за счет неравномерного распределения нагрузки между нитями корда.

Расчетное определение деформаций элементов шины при радиальном обжатии и качении связано со значительными затруднениями. Хотя дифференциальные уравнения, описывающие произвольные деформации резино-кордной оболочки, и составлены¹⁶⁻¹⁸, однако решение их для реальных видов нагружения шины очень сложно.

Поэтому при рассмотрении качения шины приходится использовать различного рода приближенные методы расчета. В этих условиях особо важное значение получает экспериментальное исследование работы шины.

Контакт шины с дорогой

При воздействии на шину вертикальной нагрузки она деформируется и часть ее поверхности приходит в соприкосновение с опорой, как это схематически изображено на рис. 77.

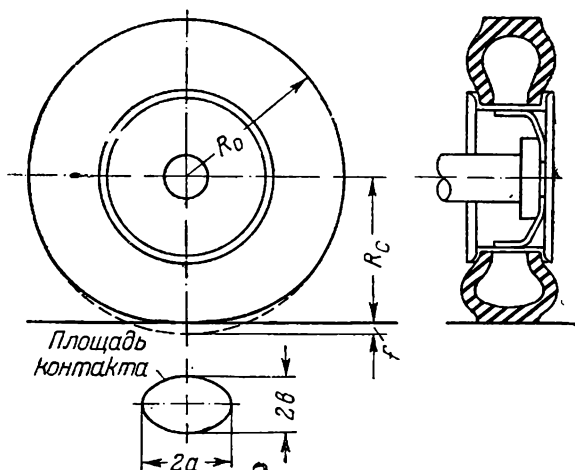


Рис. 77. Контакт шины с дорогой.

Прогиб шины f и размеры площади контакта ее с опорой зависят от нагрузки и Q и внутреннего давления p . Высота оси деформированной шины над плоскостью опоры R_c называется статическим радиусом шины:

$$R_c = R_0 - f$$

где R_0 —наружный радиус недеформированной шины.

При качении колеса с некоторой скоростью расстояние его оси от поверхности дороги несколько увеличивается и становится

ся равным $R_d > R_c$. Величина R_d называется динамическим радиусом шины. Увеличение динамического радиуса в сравнении со статическим объясняется как повышением жесткости материалов шины при динамической деформации и соответствующим уменьшением прогиба f , так и увеличением наружного радиуса шины R_0 в связи с действием центробежных сил. Как правило, при обычных скоростях движения разница между R_d и R_c незначительна и приближенно можно считать $R_d = R_c$.

Важной характеристикой шины является радиус качения ее R_k , под которым понимается условная величина, равная отношению линейной скорости качения колеса v к угловой скорости ω его вращения

$$R_k = \frac{v}{\omega}$$

Умножая числитель и знаменатель приведенной формулы на время движения t , можно определить радиус качения как отношение пути $s = vt$, пройденного колесом к углу его поворота $\varphi = \omega t$, выраженному в радианах:

$$R_k = \frac{s}{\varphi} \quad (60)$$

Рассмотрим свободное качение шины по плоскости, причем для простоты предположим, что ось шины неподвижна в пространстве, а опорная плоскость движется со скоростью v . В средней части площади контакта, где проскальзывание отсутствует, протектор шины движется с такой же скоростью и за один оборот шины проходит такой же путь s_1 , как и опорная плоскость.

Очевидно, что за один оборот колеса через опорную плоскость проходит весь протектор шины, начальная длина которого составляет $2\pi R_0$.

Однако, так как в зоне контакта протектор в окружном направлении испытывает деформацию сжатия ε (см. ниже), деформированная его длина s_1 составляет:

$$s_1 = 2\pi R_0 (1 - \varepsilon)$$

Подставляя это значение в формулу (60) и учитывая, что один оборот колеса соответствует углу поворота $\varphi = 2\pi$, найдем:

$$R_k = R_0 (1 - \varepsilon) \quad (61)$$

Таким образом, отношение радиуса качения к наружному радиусу шины зависит от величины окружной деформации протектора шины в контакте. Эта величина, в свою очередь, зависит от прогиба шины и ее конструкции—угла нитей корда, типа и глубины рисунка.

Площадь контакта шины с опорой обычно имеет эллипсообразную форму (см. рис. 77). Благодаря наличию рисунка протектора контакт осуществляется не по всей площади эллипса, а лишь под выступами рисунка. На рис. 78 представлены отпечатки площади контакта шин с дорожным рисунком протектора (рис. 78, а) и рисунком повышенной проходимости (78, б).

Интенсивность сил взаимодействия шины с опорой может быть охарактеризована средним давлением в площади контакта:

$$q_{\text{ср.}} = \frac{Q}{F_{\text{бр.}}} \quad (62)$$

где $F_{\text{бр.}}$ — полная площадь эллипса контакта.

Более точной характеристикой является среднее давление, отнесенное к действительной площади отпечатка $F_{\text{н}}$:

$$q'_{\text{ср.}} = \frac{Q}{F_{\text{н}}}$$

Величина $q'_{\text{ср.}}$ больше, чем $q_{\text{ср.}}$, причем соотношение между ними зависит от насыщенности рисунка протектора, т. е. от соотношения между поверхностью выступов и поверхностью канавок.

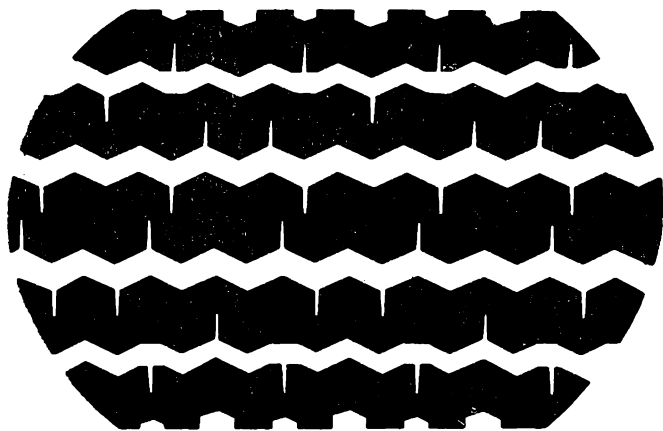
Опыты показывают, что в действительности контактное давление распределяется по площади контакта шины с опорой неравномерно.

Наиболее совершенный метод экспериментального определения давления в контакте шины с опорой с помощью тензометрических датчиков описан в работе¹⁹ (см. гл. VI, стр. 294). На рис. 79 приведено распределение давления при медленном качении шины 7,50—16 с гладким протектором по барабану, полученное в упомянутой работе. Внутреннее давление в шине составляло 2,5 кгс/см², нагрузка—785 кгс.

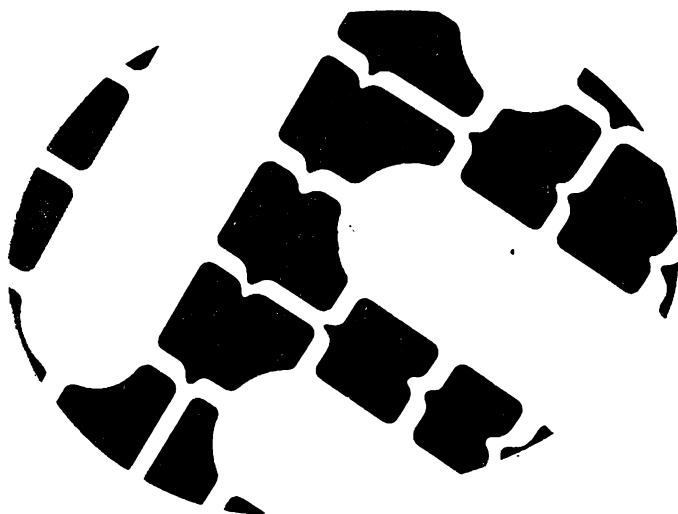
Как видно из рисунка, в данном случае давление у краев беговой дорожки существенно выше, чем в остальной части контакта.

Характер распределения давления по площади контакта изменяется с изменением прогиба шины. Конструкция шины, и в первую очередь кривизна ее протектора, также оказывает существенное влияние на распределение давления. При большой кривизне протектора давление в середине беговой дорожки больше, чем по ее краям; с уменьшением кривизны протектора давление по краям беговой дорожки растет, а по середине—уменьшается.

При наличии рисунка протектора на общую неравномерность распределения давления по площади контакта накладывается также неравномерность его распределения в пределах каждого



a



b

Рис. 78. Отпечатки площади контакта шины с дорогой:
a—шина с дорожным рисунком протектора; *b*—шина с рисунком повышенной проходимости.

элемента рисунка. В середине элемента (рис. 80) давление больше, чем у его краев. Это объясняется тем, что у краев элемента резина имеет большую свободу поперечного расширения, чем в середине.

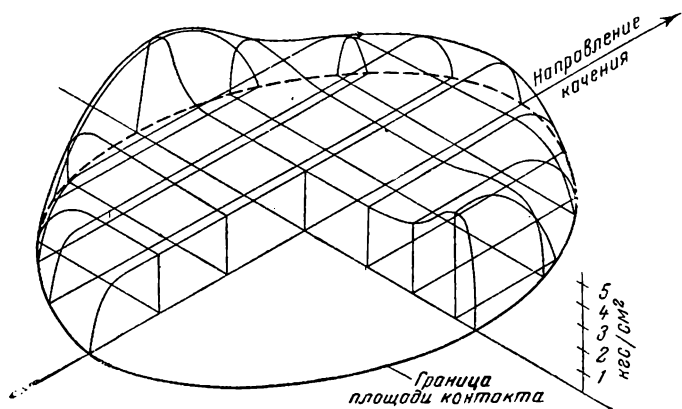


Рис. 79. Распределение давления в площади контакта шины 7,50—16 с беговым барабаном.

Наряду с контактными силами, нормальными к плоскости опоры, возникают также силы, лежащие в этой плоскости.

Характер распределения касательных сил по площади контакта шины 6,00—16 при свободном качении приведен на рис. 81 (нагрузка 450 кгс, внутреннее давление 2 кгс/см^2). Здесь показаны силы, воздействующие на опору. Силы, действующие на шину, имеют противоположное направление. На рис. 81, б приведено распределение составляющей касательных сил в направлении качения, на рис. 81, в—составляющей, перпендикулярной к направлению качения²³.

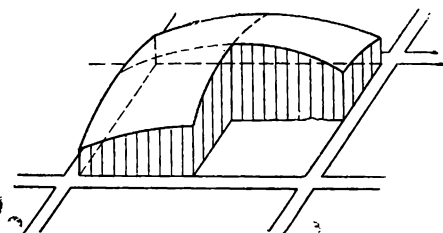


Рис. 80. Характер распределения давления в пределах одного элемента рисунка протектора.

Как видно из рисунка, касательные силы, воздействующие на опору, направлены приблизительно к центру площади контакта.

Нагрузочная характеристика шины

Основной величиной, характеризующей шину, является ее податливость, т. е. способность деформироваться под действием нагрузки.

Зависимость радиального прогиба шины от величины нагрузки называется характеристикой шины. Характеристика шины зависит от ее конструкции и от внутреннего давления воздуха.

В качестве примера на рис. 82 представлены характеристики шины 12,00—18, снятые при различных значениях внутреннего давления (от нуля до 3,5 кгс/см²).

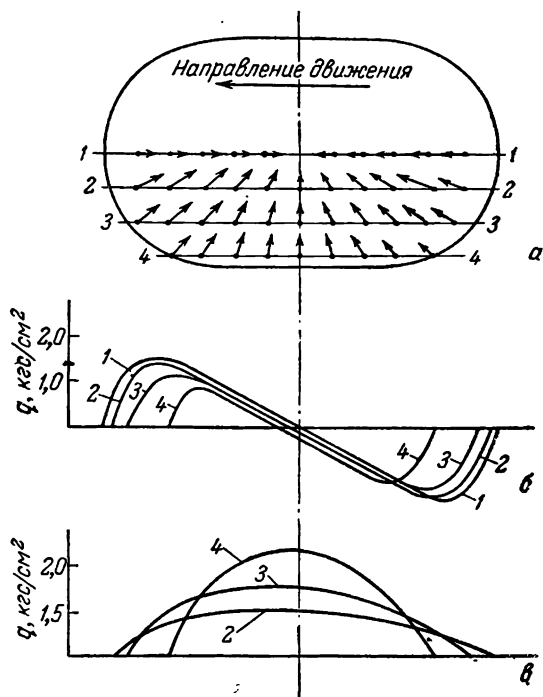


Рис. 81. Распределение касательных сил в площади контакта шины 6,00—16 при свободном качении. Кривые 1, 2, 3, 4—распределение сил по продольным сечениям зоны контакта (1—1 . . . 4—4): а—направления сил; б—продольная составляющая; в—поперечная составляющая касательных сил.

Каждая характеристика представляет собой петлю, верхняя ветвь которой получена при нагрузке, а нижняя—при разгрузке. Различие между этими ветвями связано с наличием трения—как внутреннего трения в материале шины, так и внешнего трения в площади контакта.

С увеличением внутреннего давления p петля гистерезиса сужается и при нормальном эксплуатационном давлении для обычных шин может не приниматься во внимание.

Из графиков рис. 82 видно, что зависимость прогиба от нагрузки является нелинейной. С увеличением прогиба жесткость шины увеличивается. Увеличение внутреннего давления повышает жесткость шины, однако и здесь нет прямой пропорциональности. Жесткость шины растет медленнее, чем внутреннее давление. Те же закономерности видны и из представленных на рис. 83 кривых обжатия легкой шины 6,00—16.

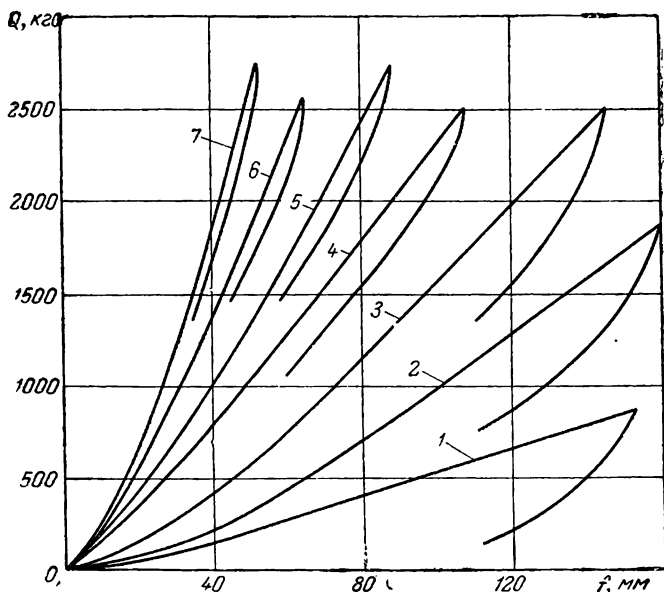


Рис. 82. Нагрузочные характеристики шины 12,00—18 при различных значениях внутреннего давления p (в $\text{кгс}/\text{см}^2$):
1—0; 2—0,2; 3—0,5; 4—1,0; 5—1,5; 6—2,5; 7—3,5.

Ввиду большой важности вопроса расчетное определение прогибов шины привлекло внимание ряда исследователей. Тем не менее можно указать лишь несколько приближенных формул, служащих для этой цели.

Наиболее известной является формула Хедекеля³.

Эта формула основана на двух гипотезах. Предполагается, во-первых, что вне площади контакта шина не деформируется и, во-вторых, что среднее удельное давление в площади контакта равно внутреннему давлению воздуха.

Вторая гипотеза может быть сформулирована и иначе: работа обжатия шины полностью расходуется на сжатие воздуха в ней. Первая из этих гипотез позволяет установить чисто геометрически размеры площади контакта (рис. 84).

Считая прогибы малыми, находим полуоси эллипса контакта:

$$a = \sqrt{Df}; \quad b = \sqrt{2Rf} \quad (63)$$

где D —наружный диаметр шины, R —радиус кривизны протектора.

Площадь контакта определяется как

$$F_{бр.} = \pi ab = \pi f \sqrt{2RD} \quad (64)$$

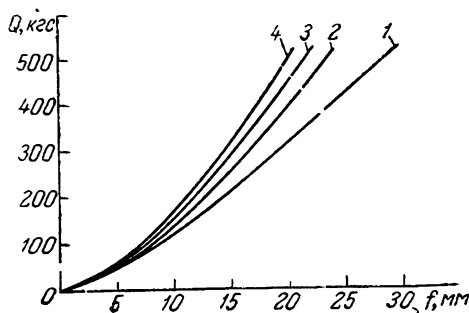


Рис. 83. Нагрузочные характеристики шины 6,00—16: модель И-77; p (в кгс/см²): 1—1,5; 2—2,0; 3—2,5; 4—3,0.

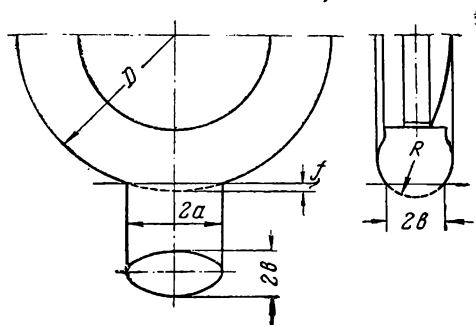


Рис. 84. К определению размеров площади контакта по Хедекелю. 1

Согласно второй гипотезе нагрузка на шину Q определяется произведением площади контакта на внутреннее давление:

$$Q = pF_{бр.} = pf\pi \sqrt{2RD} \quad (65)$$

Таким образом, согласно формуле Хедекеля, нагрузка на шину прямо пропорциональна как прогибу, так и внутреннему давлению.

Однако, как мы видели выше, опытные данные свидетельствуют о том, что зависимость нагрузки как от прогиба, так и от давления является нелинейной.

Неточность формулы Хедекеля является следствием принятых гипотез. В действительности шина деформируется не только в площади контакта, но и вне ее. Гипотеза о том, что работа обжатия полностью расходуется на сжатие воздуха, также неточна.

Для выяснения соотношения между общей работой деформации шины и частью ее, затрачиваемой на сжатие воздуха, был поставлен специальный эксперимент. При обжимке шины измерялось изменение ΔV объема ее внутренней полости.

Для этого внутренняя полость шины заполнялась водой (рис. 85). Вода в шине 1 и соединенном с ней резервуаре 2 поддерживалась под постоянным давлением воздуха в ресивере 3. Изме-

ление объема внутренней полости шины при обжатии определялось по изменению уровня воды в водомерном стекле 4.

На рис. 86 приведены графики изменения объема внутренней полости шины 9,00—20 (8 слоев вязкого корда) в зависимости от прогиба при различных значениях внутреннего давления.

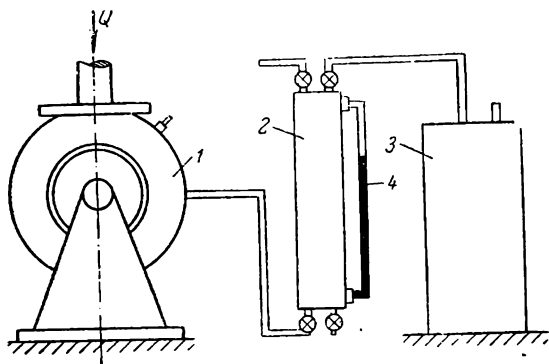


Рис. 85. Схема установки для измерения объема внутренней полости шины при ее обжатии:
1—испытываемая шина; 2—мерный резервуар; 3—резервуар; 4—водомерное стекло.

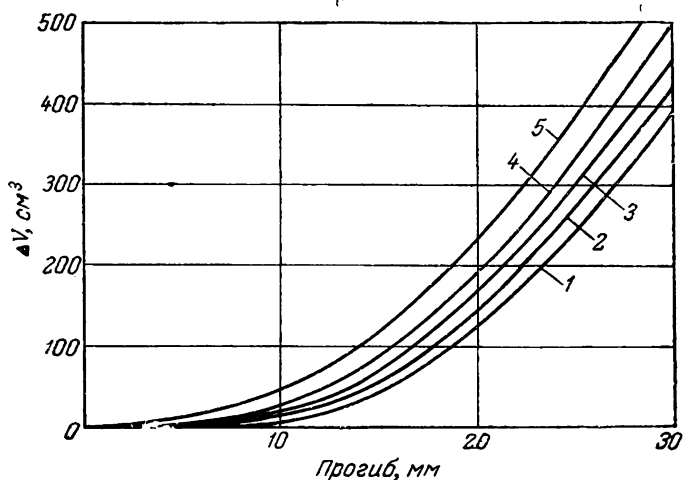


Рис. 86. Изменение объема внутренней полости шины 9,00—20 в зависимости от прогиба:

Корд 13В, 8 слоев; внутреннее давление (в кгс/см^2): 1—5; 2—4; 3—3; 4—2; 5—1.

Из рисунка видно, что с увеличением внутреннего давления изменение объема уменьшается. Это, по-видимому, объясняется двумя причинами. Во-первых, с увеличением давления становится больше деформация сжатия протектора и меньшая часть общей

деформации воспринимается каркасом. Во-вторых, чем больше давление, тем ближе конфигурация обжатой шины к равновесной ее конфигурации, соответствующей максимальному объему.

Работа сжатия воздуха при прогибе шины f определяется как

$$A_b = p\Delta V$$

где p —избыточное внутреннее давление*, ΔV —измеренное изменение объема.

Полная работа, затраченная на обжатие шины, равна:

$$A = \int_0^f Q df$$

Разность между полной работой и работой сжатия воздуха представляет собой работу, затраченную на деформацию материала шины:

$$A_m = A - A_b$$

На рис. 87 представлено изменение величин A , A_b и A_m в зависимости от прогиба шины 9,00—20 при внутреннем давлении 4 кгс/см². На рис. 88 дано соотношение между работой сжатия воздуха и полной работой обжатия в процентах. Как вид-

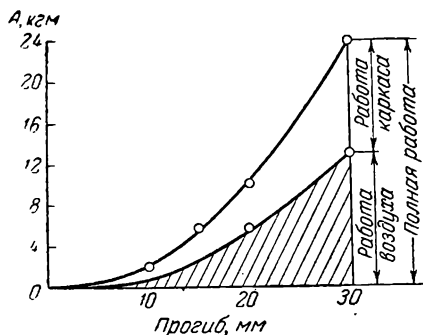


Рис. 87. Полная работа обжатия шины 9,00—20 и работа сжатия воздуха в ее внутренней полости в зависимости от прогиба ($p=4,0$ кгс/см²).

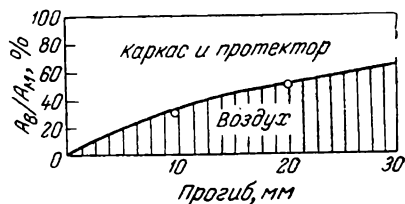


Рис. 88. Соотношение между работой сжатия воздуха и полной работой обжатия шины в зависимости от радиального прогиба.

но из графика, при нормальном прогибе ($f=27$ мм) работа сжатия воздуха составляет примерно 60% полной работы обжатия шины. Остальные 40% работы затрачиваются на деформацию ма-

* Величина давления в шине при ее обжатии меняется незначительно—для автомобильных шин в пределах 1—2% от начального давления; поэтому процесс можно считать изобарическим.

гернала шины. Значительная часть этой работы (порядка $\frac{1}{3}$) расходуется на сжатие протекторной резины.

С уменьшением прогиба при заданном внутреннем давлении доля работы сжатия воздуха уменьшается.

Рассмотрение распределения работы обжатия шины позволяет установить, что основную роль в жесткости играет сжатие воздуха, однако существенны также деформации каркаса и протектора.

Взаимодействие каркаса и протектора шины при восприятии радиальной нагрузки можно представить схемой (рис. 89).

Упругие элементы 1 и 2 соответствуют упругости воздуха и упругости собственно каркаса шины, упругий элемент 3 соответствует упругости протектора.

Легко видеть, что общий прогиб шины f складывается из прогиба, соответствующего сжатию протектора $f_{\text{п}}$ и прогиба $f_{\text{к}}$, обусловленного деформацией каркаса:

$$f = f_{\text{п}} + f_{\text{к}}$$

Рассмотрим сначала часть прогиба, обусловленную деформацией каркаса.

Предположим, что работа деформации каркаса $A_{\text{к}}$ пропорциональна изменению ΔV внутреннего объема шины, так же как и работа сжатия воздуха:

$$A_{\text{к}} = p_0 \Delta V$$

где величина p_0 характеризует жесткость каркаса при нулевом внутреннем давлении.

Тогда суммарная работа сжатия воздуха и деформации каркаса составит:

$$A_{\text{в}} + A_{\text{к}} = (p + p_0) \Delta V$$

Для того чтобы вычислить величину ΔV в зависимости от прогиба $f_{\text{к}}$, необходимо знать изменение конфигурации шины при обжатии. Однако приближенно можно считать, что действительное изменение объема пропорционально соответствующей величине, вычисляемой по методу Хедекеля, т. е. что ΔV пропорцио-

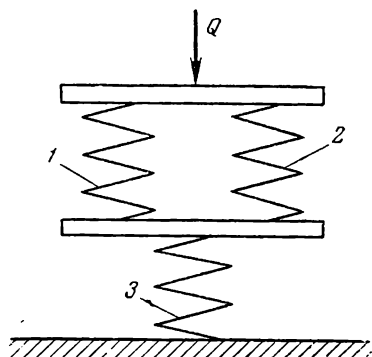


Рис. 89. Схема взаимодействия каркаса и протектора шины при восприятии радиальной нагрузки:

1 и 2—упругие элементы, соответствующие упругости воздуха и каркаса шины; 3—упругий элемент, соответствующий упругости протектора.

нально объему эллиптического сегмента с полуосями a и b и стрелкой f_k (рис. 84):

$$\Delta V = k_1 \frac{1}{2} \pi a b f_k$$

где k_1 —коэффициент пропорциональности.

Подставляя сюда значения a и b по формулам (63) с заменой f на f_k , найдем:

$$\Delta V = k_1 \frac{1}{2} \pi \sqrt{2RD} f_k^2$$

Таким образом, получается квадратичная зависимость изменения объема от прогиба f_k .

Из рассмотрения рис. 86 видно, что при низких внутренних давлениях ($p=1 \text{ кгс/см}^2$), когда деформации протектора весьма малы и $f \approx f_k$, экспериментальная зависимость ΔV от f практически представляет собой квадратную параболу.

С учетом значения ΔV получим для работы сжатия воздуха и деформации каркаса выражение

$$A_B + A_K = \frac{1}{2C_2} (p + p_0) f_k^2$$

где $C_2 = \frac{1}{k_1 \pi \sqrt{2RD}}$ —постоянная для данной шины величина, обратно пропорциональная ее линейным размерам.

Учитывая, что

$$A_B + A_K = \int_0^{f_k} Q df$$

найдем величину нагрузки Q , соответствующей прогибу каркаса f_k :

$$Q = \frac{d}{df_k} (A_B + A_K) = \frac{p + p_0}{C_2} f_k$$

откуда

$$f_k = C_2 \frac{Q}{p + p_0} \quad (66)$$

Теперь рассмотрим часть прогиба f_n , обусловленную деформацией протектора.

Площадь контакта шины с опорной поверхностью можно приближенно оценить формулой (64):

$$F_{\text{ср.}} = \pi f \sqrt{2RD}$$

Тогда среднее удельное давление в площади контакта составит:

$$q = \frac{Q}{F_{\text{бр.}}} = \frac{1}{\pi \sqrt{2RD}} \cdot \frac{Q}{f}$$

Максимальное давление на выступы рисунка протектора в центре площади контакта можно определить как

$$q_{\text{max}} = \frac{\psi_1}{\psi} q$$

где ψ —коэффициент насыщенности рисунка, т. е. отношение площади выступов в контакте к общей площади контакта; ψ_1 —коэффициент, учитывающий неравномерность распределения давления по площади контакта. При малых прогибах и больших внутренних давлениях коэффициент ψ_1 велик и приближается к цифре 2; при обычных прогибах давление распределено по площади почти равномерно и $\psi_1 \approx 1$.

Прогиб f_n может быть найден из расчета протектора на сжатие:

$$f_n = \frac{q_{\text{max}} h}{\psi_2 E} \quad (67)$$

где h —толщина протектора, E —модуль упругости протекторной резины, ψ_2 —коэффициент ужесточения в связи с затрудненностью поперечных деформаций резины. Этот коэффициент уменьшается и приближается к единице с увеличением расчлененности рисунка и отношения глубины рисунка к полной толщине протектора. Подставляя в формулу (67) значение q_{max} , найдем:

$$f_n = C_1 \frac{Q}{f}$$

где $C_1 = \frac{\psi_1}{\psi \psi_2 E} \cdot \frac{h}{\pi \sqrt{2RD}}$ —постоянный для данной шины коэффициент.

Полный прогиб шины складывается из прогибов протектора и каркаса:

$$f = f_n + f_k = C_1 \frac{Q}{f} + C_2 \frac{Q}{p + p_0} \quad (68)$$

Разрешая это выражение относительно нагрузки, получим формулу

$$Q = \frac{f^2}{C_1 + C_2 \frac{f}{p + p_0}} \quad (69)$$

В этой формуле C_1 , C_2 и p_0 —постоянные для данной шины коэффициенты. Величины C_1 , C_2 и p_0 для данной шины могут быть определены по результатам трех опытов, проведенных хотя бы

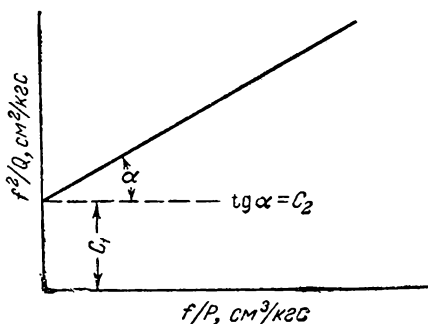
при двух различных внутренних давлениях. При этом из двух опытов, проведенных при одном и том же давлении p' , легко определить значения C_1 и $\frac{C_2}{p' + p_0}$, а затем из опыта, проведенного при другом давлении (p''), также $\frac{C_2}{p'' + p_0}$, после чего вычисляются величины C_2 и p_0 в отдельности.

Проведенная таким образом обработка экспериментальных данных показала, что для различных шин в зависимости от жесткости каркаса величина p_0 лежит в пределах 0,1—0,3 кгс/см². Поэтому при подсчете прогибов обычных автомобильных шин эта величина может не учитываться. Величину p_0 необходимо принимать во внимание только при определении прогибов шин, работающих при весьма низких давлениях (например, для шин с регулируемым внутренним давлением арочных и сельскохозяйственных).

Таким образом, в большинстве случаев формула (69) может быть использована в упрощенном виде:

$$Q = \frac{f^2}{C_1 + C_2 \frac{f}{p}} \quad (70)$$

Рис. 90. Универсальная характеристика шины.



При этом неучет величины p_0 может быть в известной степени компенсирован некоторым уменьшением C_2 .

Рассмотрим теперь экспериментальные данные, относящиеся к определению постоянных C_1 и C_2 , входящих в формулу (70).

Для того чтобы определить постоянные C_1 и C_2 по данным статического испытания шины, представим уравнение (70) в форме

$$\frac{f^2}{Q} = C_1 + C_2 \frac{f}{p}$$

Таким образом, если справедливы исходные предпосылки, то в координатах $\frac{f}{p}$, $\frac{f^2}{Q}$ (рис. 90) характеристика шины выражается прямой линией, которую мы назовем универсальной характеристикой шины, причем отрезок, отсекаемый этой линией на оси $\frac{f^2}{Q}$, равен C_1 , а тангенс угла наклона ее равен C_2 .

На рис. 91 представлены полученные экспериментально кривые обжатия шин: 7,50—16; 7,50—20 и 260—20 при различных

внутренних давлениях и на рис. 92—соответствующие кривые в координатах $\frac{f}{p}$, $\frac{f^2}{Q}$ для этих шин и для шины 6,00—16. Для каждой шины в координатах $\frac{f}{p}$, $\frac{f}{Q}$ все точки независимо от давления и нагрузки с удовлетворительной точностью ложатся на одну прямую, что подтверждает справедливость формулы (70).

При низких внутренних давлениях и соответственно больших прогибах, как уже указывалось, необходимо учитывать величину

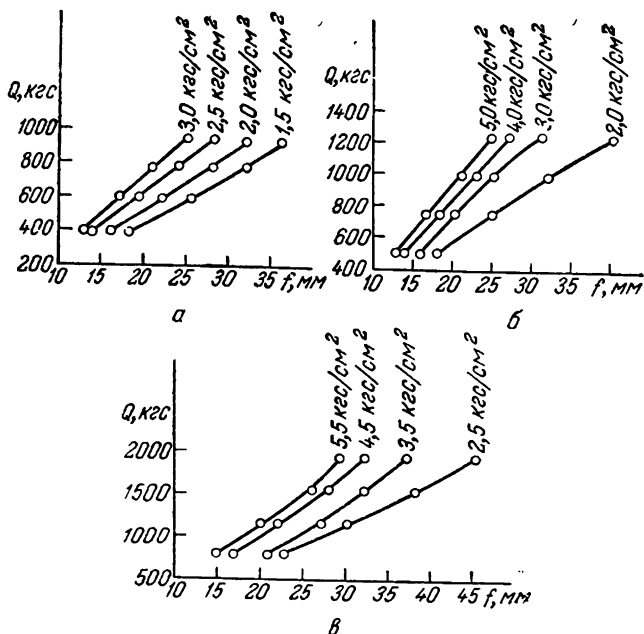


Рис. 91 Нагрузочные характеристики шин:
а—7,50—16; б—7,50—20; в—260—20.

ну p_0 . Это видно, например, из рис. 93, на котором представлены в координатах $\frac{f}{p}$, $\frac{f^2}{Q}$ результаты обжатия шины 12,00—18. В этом случае точки, соответствующие низким внутренним давлениям, отходят далеко вправо от прямой, построенной по точкам, соответствующим давлению 3,5 кгс/см². Но если по оси абсцисс откладывать не $\frac{f}{p}$, а величину $\frac{f}{p+p_0}$, приняв $p_0=0,3$ кгс/см², все точки (они перечеркнуты на рис. 93 кривой чертой) снова укладываются приблизительно на одну прямую. Близкими к этой прямой оказываются даже точки, полученные при обжатии ненадутой шины ($p=0$).

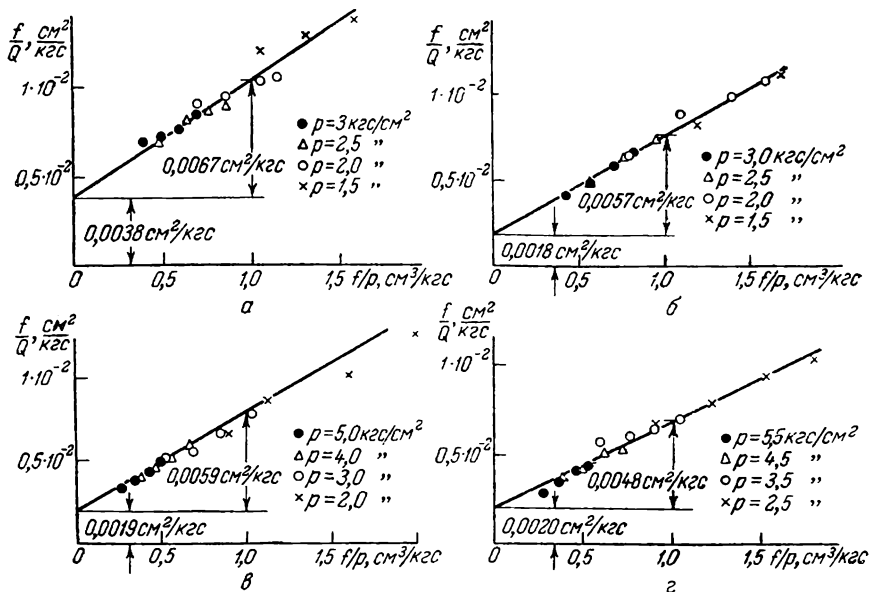


Рис. 92 Универсальные характеристики шин:
 а—6,00—16; б—7,50—16; в—7,50—20; г—260—20.

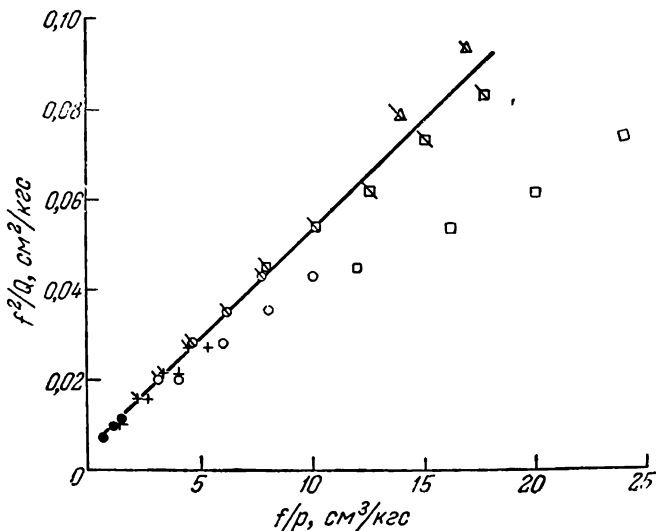


Рис. 93. Универсальная характеристика шины 12,00—18
 (для перечеркнутых косою чертой точек по оси абсцисс

отложено отношение $\frac{f}{p+0,3}$).

Внутреннее давление (кгс/см²) ●—3,5; +—1,5; ○—1,0;
 □—0,5; △—0.

Таким образом, можно считать, что полученная формула (69), дающая связь между прогибом шины, нагрузкой и внутренним давлением, отвечает экспериментальным данным. При этом в большинстве случаев может использоваться более простая формула (70), включающая только два параметра C_1 и C_2 , характеризующих шину.

Из формулы (70) легко также получить формулу для прогиба:

$$f = \frac{C_2 Q}{2p} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2p}\right)^2 + C_1 Q}$$

и для давления:

$$p = \frac{C_2 Q f}{f^2 - C_1 Q}$$

Кроме того, для расчета подвески автомобиля необходима жесткость шины при заданной нагрузке, т. е. производная $\frac{dQ}{df}$. Эта величина определяется формулой

$$\frac{dQ}{df} = \frac{Q}{f} \left(2 - C_2 \frac{Q}{pf} \right)$$

в которую подставляются значения Q , f и p , соответствующие данному режиму.

Большой интерес представляет определение величин C_1 , C_2 и p_0 . Как уже указывалось выше, эти величины могут быть определены по результатам обжатия шины при трех режимах. В большинстве случаев, когда нет необходимости учитывать p_0 , достаточно двух опытов. Однако при проектировании, когда шина еще не изготовлена, необходимо иметь возможность предварительно оценить значения C_1 , C_2 и p_0 .

Принятые при выводе формул значения величин C_1 , C_2 и p_0 содержат ряд неизвестных коэффициентов и потому не могут быть непосредственно использованы для расчета. Однако они полезны для исследования качественной зависимости этих величин.

Так, величина C_2 определялась формулой

$$C_2 = \frac{1}{k_1 \pi \sqrt{2RD}}$$

где k_1 —отношение изменения объема шины к объему эллиптического сегмента, получаемого при сечении шины плоскостью. Очевидно, что этот коэффициент зависит главным образом от относительной толстостенности шины, характеризуемой (при данном типе корда) отношением $\frac{n}{B}$ числа слоев корда к ширине профиля шины. Чем больше это отношение, тем больше изменяется

объем шины при данном прогибе (k_1 —больше) и тем больше энергия деформации каркаса (p_0 —больше).

Таким образом, при постоянной внешней геометрии шины (т. е. для шин, изготовленных в одной форме) коэффициент C_2 должен несколько уменьшаться с увеличением числа слоев.

Вместе с тем для геометрически подобных шин с одинаковым отношением $\frac{n}{B}$ величина C_2 должна изменяться обратно пропорционально $\sqrt{2RD}$, т. е. обратно пропорционально линейным размерам шины.

Как показывают эксперименты, для большинства легковых и грузовых шин обычного назначения можно считать

$$k_1 = 0,7 \div 1 \quad \text{и} \quad C_2 = \frac{1 \div 1,4}{\pi \sqrt{2RD}}$$

Этой приближенной формулой целесообразно пользоваться только при отсутствии экспериментальных данных для шин, близких к проектируемой конструкции. Если такие данные есть, то следует определять C_2 пересчетом. Пусть, например, для шины, имеющей размеры R' и D' и близкой по конструкции к проектируемой, экспериментально определено значение C_2' . Тогда для проектируемой шины можно принять

$$C_2 = C_2' \sqrt{\frac{R'D'}{RD}}$$

Коэффициент C_1 выше был определен формулой

$$C_1 = \frac{\psi_1}{\psi_2 E} \cdot \frac{h}{\pi \sqrt{2RD}}$$

где ψ , ψ_1 и ψ_2 —безразмерные коэффициенты, зависящие в основном от типа рисунка протектора, h —толщина протектора.

Из приведенной формулы видно, что для геометрически подобных шин, для которых отношение $\frac{h}{\sqrt{RD}}$ одинаково, величина C_1 не зависит от абсолютных размеров шины. Эта величина для данного типа шин изменяется в сравнительно узких пределах. Так, для грузовых шин дорожного типа она лежит в пределах 0,001—0,002 $см^2/кгс$, причем меньшие величины соответствуют шинам с малорасчлененным рисунком, шинам, монтируемым на широких ободах. Для шин повышенной проходимости коэффициент C_1 выше, чем для дорожных, и достигает значений до 0,003—0,0035 $см^2/кгс$.

Для четырехслойных легковых шин можно принимать $C_1 = 0,0035—0,004$ $см^2/кгс$ и для шестислойных шин $C_1 = 0,002$ $см^2/кгс$. Что касается величины p_0 , характеризующей собственную жест-

кость шины при отсутствии внутреннего давления то она, естественно, зависит прежде всего от относительной толщины стенок шины и от жесткости материалов. В среднем для шин с регулируемым внутренним давлением эта величина составляет примерно $p_0 = 0,3 \text{ кгс/см}^2$.

Для шин с особо тонкими стенками (например, четырехслойная шина 11,00—18) величина p_0 составляет около $0,15 \text{ кгс/см}^2$.

Напряжения и деформации, возникающие в элементах шины при качении

В связи с отсутствием достаточно надежных методов расчета усилий и деформаций, возникающих в элементах шины при ее качении, большое практическое значение имеет экспериментальное исследование этих деформаций.

Результаты такого исследования позволяют выявить реальные режимы работы шинных материалов, а следовательно, и установить требования, которым эти материалы должны удовлетворять. Они полезны также при выборе режимов испытаний материалов и режимов лабораторных испытаний шин.

Исследования деформаций элементов шин могут быть использованы и при сравнении шин различных конструкций.

Изучение деформаций элементов шин связано с значительными затруднениями, так как здесь не может быть использована стандартная измерительная аппаратура, применяемая при измерении деформаций металлических деталей. Деформации резины в шине относительно велики—до нескольких десятков процентов, что исключает возможность непосредственного применения проволочных датчиков сопротивления.

Применение различного рода рычажных измерительных устройств также не может быть допущено, так как эти устройства, обладая значительной собственной жесткостью и весом, вносят искажения в начальное распределение деформаций в шине.

В НИИ шинной промышленности работа по экспериментальному исследованию деформаций элементов шин проводится с 1950 г. Были опробованы различные типы датчиков деформации и проведены измерения деформации элементов шины в зависимости от конструктивных и эксплуатационных факторов.

Большая часть результатов получена при использовании датчиков двух типов.

На рис. 94 изображен тензомер, представляющий собой П-образную скобу из тонкой стальной ленты. На горизонтальную пластину скобы с обеих сторон наклеиваются проволочные датчики сопротивления, включаемые в смежные плечи мостовой схемы. К скобе припаяны иголки с привулканизованными к ним резиновыми шайбами для установки и крепления тензомера. К скобе припаяны также две трубки, в отверстия кото-

рых вставляется специальная вилка, служащая для установки тензометра в покрышку.

Изменение расстояния между иглами тензометра вызывает изгиб скобы и соответствующее изменение сопротивления датчиков, которое регистрируется аппаратурой. Датчики указанной конструкции обладают значительной собственной массой, которая не позволяет использовать их для измерений при качении шины с высокой скоростью. Кроме того, база этих тензометров должна быть весьма малой, чтобы на их показания не влияло изменение кривизны стенок шины (практически использовались датчики с базой 10—15 мм).

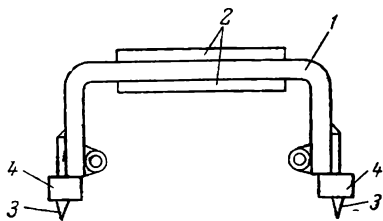


Рис 94. Тензометр с проволочными датчиками для измерения больших деформаций:

1—скоба; 2—датчик; 3—установочная игла; 4—резиновая шайба.

В. А. Пугиним разработаны резино-проволочные датчики для измерения больших деформаций, не имеющие перечисленных недостатков²⁰.

Датчик (рис. 95) представляет собой резиновую нить толщиной порядка 1 мм, на которую намотана тонкая (диаметром ~0,02 мм) константановая проволока. Проволока наматывается на предварительно растянутую нить. После освобождения нити поперечные размеры ее увеличиваются и проволока оказывается растянутой. Такой датчик наклеивается на покрышку в направлении измеряемой деформации и деформируется вместе с материалом покрышки. При этом натяжение проволоки, а следовательно, и ее электрическое сопротивление меняются. С помощью измерительной схемы изменение сопротивления датчика записывается на осциллографе. Измерение деформаций может выполняться как при статическом нагружении шины, так и при ее качении. В последнем случае включение датчиков осуществляется через коллектор.

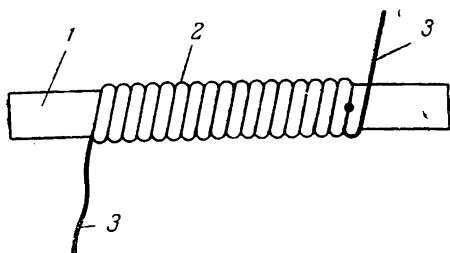


Рис. 95. Резино-проволочный датчик для измерения больших деформаций:

1—резиновая нить; 2—константановая проволока; 3—вывод.

Известно, что для полного определения деформированного состояния в точке на поверхности оболочки необходимо знать

линейные деформации в трех каких-либо направлениях. В качестве таких направлений в шине целесообразно избрать меридиональное, окружное и направление по нити корда.

В этих направлениях обычно ориентируются датчики при измерении деформации в шине.

Они наклеиваются как на наружном, так и на внутреннем слое каркаса покрышки. В последнем случае шина монтируется без камеры.

Детально результаты измерения деформаций в шинах различной конструкции и в различных условиях нагружения изложены в работе²¹. Здесь же мы лишь кратко рассмотрим общий характер изменения деформаций элементов шин обычной конструкции при медленном качении по ровной поверхности.

Типичными являются кривые изменения деформаций шины 9,00—20 (8 слоев корда 13В, нагрузка 1560 кгс, внутреннее давление 4,5 кгс/см²), представленные на рис. 96. Деформации измерялись в пяти точках по профилю шины (рис. 97), причем в каждой точке устанавливались по три датчика соответственно в меридиональном и окружном направлениях вдоль нитей корда. По горизонтали на рис. 96 отложен угол поворота шины. Начало координат соответствует положению датчика в плоскости симметрии, проходящей через середину площади контакта.

Зона заметных деформаций распространяется примерно на 60° в каждую сторону от середины площади контакта, что соответствует расстоянию по окружности, равному удвоенной ширине профиля шины.

Из рис. 96 видно, что кривые изменения меридиональных и окружных деформаций как на внутреннем, так и на наружном слоях покрышки имеют характерную форму с тремя экстремумами.

Эти экстремумы соответствуют положению рассматриваемой точки в вертикальной плоскости симметрии, а также в плоскостях, составляющих углы 20—25° с этой плоскостью и проходящих немного выше площади контакта.

Кривые деформаций в соответствующих точках на внутреннем (сплошные линии) и наружном (пунктир) слоях шины в основном соответствуют друг другу. Исключением являются деформации в пределах площади контакта.

Так, в центре площади контакта нить внутреннего слоя удлиняется на 0,5%, а нить наружного слоя укорачивается примерно на 3%. Эти величины представляют собой дополнительные деформации, получаемые нитями при качении покрышки. Начальная деформация нитей, вызванная внутренним давлением, составила, по данным специальных замеров, для восьмислойной покрышки на корде 13В примерно 2,2% ($\pm 0,2\%$). Таким образом, полная деформация нити корда в середине площадки контакта составляет на внутреннем слое 2,7% (растяжение), а на наружном слое 0,8% (сжатие).

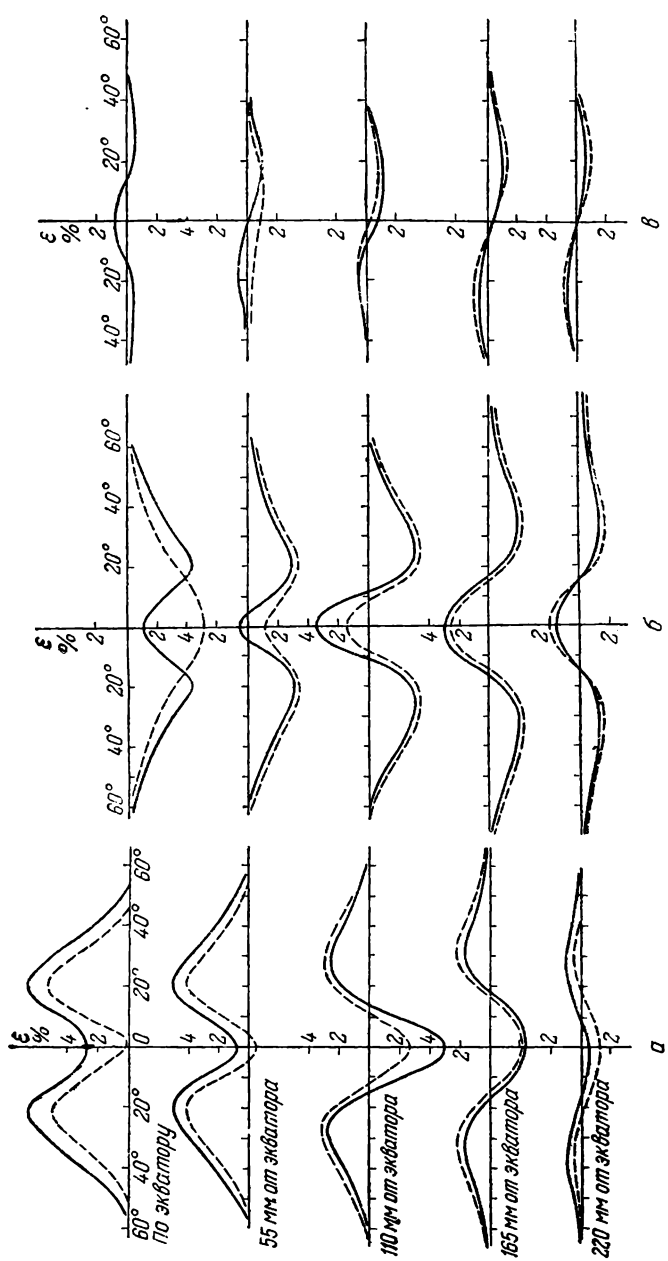


Рис. 96. Деформации внутреннего и наружного слоев шин 9.00—20 в меридиональном (а), окружном (б) направлениях и в направлении нити корда (ε) в зависимости от угла поворота шины.

Разница между величинами деформаций на внутреннем и наружном слоях обусловлена изгибом каркаса покрышки. Этот изгиб играет существенную роль в зоне площади контакта и ее ближайших окрестностях. Вне этой зоны можно приближенно считать деформации наружного и внутреннего слоев одинаковыми.

Сравнение деформаций в окружном и меридиональном направлениях показывает, что эти деформации во всех точках имеют различные знаки.

Удлинению в меридиональном направлении соответствует укорочение в окружном направлении, и наоборот.

Таким образом, если представить себе ромбик, образованный нитями смежных слоев корда, то удлинению одной из диагоналей ромбика соответствует укорочение другой диагонали.

Такого рода деформации могут проходить, вообще говоря, и без изменения длины нитей корда в том случае, если между окружной (ϵ_t) и меридиональной (ϵ_m) деформациями имеется соотношение [см. формулу (14). стр. 58]

$$\epsilon_t = -\epsilon_m \operatorname{ctg}^2 \beta$$

где β —угол, составляемый в данной точке нитью корда с меридианом.

В покрышках размера 9,00—20 угол нитей корда изменяется примерно от 52° по экватору до 30 — 33° по борту.

В соответствии с этим, если бы нити корда не изменяли своей длины, отношение $\frac{\epsilon_t}{\epsilon_m}$ равнялось бы 0,7 по экватору, а на расстояниях 55, 110, 165 и 220 мм от экватора—соответственно 0,81, 1,15, 1,9 и 2,4. Фактические соотношения, которые могут быть получены из графиков на рис. 96, близки к этим значениям. Таким образом, уже значения окружных и меридиональных деформаций свидетельствуют о незначительности удлинений нити. Эти данные подтверждаются результатами непосредственного измерения деформации нитей. Как видно из рис. 96, в, удлинения нити при качении покрышки по плоскости везде меньше 1% (сверх начального удлинения в 2,2%, обусловленного внутренним давлением).

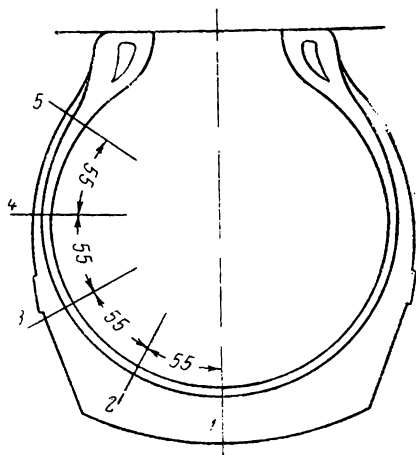


Рис. 97. Расположение точек установки датчиков по профилю шины.

По измеренным величинам деформаций нити можно определить возникающие в ней усилия.

Для этого следует воспользоваться кривыми растяжения нитей корда (см. рис. 73, стр. 90).

Имеется также возможность, используя результаты, изложенные на стр. 61, подсчитать величину деформаций резины в слое. Так как база датчика захватывает несколько нитей, то измеряемые датчиком окружная и меридиональная деформации представляют собой средние деформации слоя.

Если предположить, что нить корда по сравнению с резиной практически не деформируется, то вся измеренная величина деформации получается за счет изменения размеров участков резины между нитями.

Относя измеренную деформацию к размеру этих участков, найдем деформацию резины.

В этом случае средний сдвиг в направлении нитей составляет

$$\gamma^* = (\epsilon_m - \epsilon_t) \sin 2\beta$$

а максимальный сдвиг резины между нитями

$$\gamma_{\max} = \gamma^* \frac{t}{t-d}$$

Для корда 13В калибр равен $d=0,88$ мм, а шаг его $t=1,25$ мм (80 нитей на 100 мм по экватору). Следовательно, множитель $\frac{t}{t-d}$ равен $\frac{1,25}{1,25-0,88}=3,4$.

Таким образом, например, в точке по экватору под углом 20° к вертикальной плоскости, где на внутреннем слое средние деформации составляют $\epsilon_m=6,6\%$ и $\epsilon_t=-4,6\%$, а угол нити корда $\beta=52^\circ$, деформация сдвига в резине составляет

$$\gamma_{\max} = (6,6 + 4,6) \sin 104^\circ \cdot 3,4 = 37\%$$

Соответствующий угол сдвига равен $\operatorname{arctg} 0,37=20^\circ$.

В связи с изменением натяжения нитей каркаса в зоне деформации покрышки изменяется и усилие, передаваемое нитями на бортовые кольца в нижней части покрышки.

Как видно из рис. 96, в, деформации в нитях корда в зоне боковины изменяются несимметрично относительно плоскости, проходящей через середину контакта. С одной стороны от этой плоскости деформации очень малы (небольшое дополнительное растяжение), с другой стороны нить испытывает существенное укорочение. Такая картина имеет место для слоев одного направления (например, нечетных). Для скрещивающихся слоев (например, четных) картина деформаций является зеркальным отображением картины, представленной на рис. 96, в.

Схематически изменение усилий в нитях корда, передаваемых на бортовое кольцо, представлено на рис. 98. На рис. 98, *а* представлено начальное равномерное натяжение кольца двумя системами сил в слоях корда $N_1 = N_2$. На рис. 98, *б* усилия в нитях корда изменены в связи с воздействием на шину радиальной нагрузки. В этом случае система сил N является уже неуравновешенной и равновесие кольца поддерживается благодаря возникновению давления на обод q , с помощью которого радиальная нагрузка передается на обод. Переход от нагрузок рис. 98, *а* к нагрузкам рис. 98, *б* можно рассматривать как приложение к кольцу дополнительных сил, представленных на рис. 98, *в* и

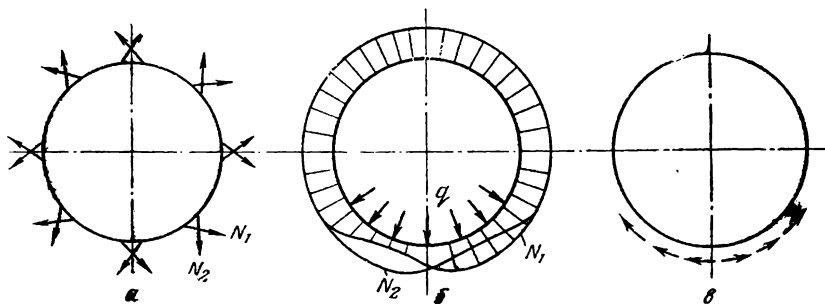


Рис. 98. Дополнительное нагружение бортового кольца при радиальном обжатии шины.

учитывающих действие радиальной нагрузки. Легко видеть, что эти дополнительные силы вызовут дополнительное растяжение кольца в нижней части. Непосредственный эксперимент по измерению напряжений в кольце при качении подтверждает сказанное.

При качении шины деформации возникают не только в слоях покрышки, но и в междуслойной резине. Появление этих сдвиговых деформаций обусловлено разницей в работе различных слоев покрышки. Схематически появление сдвиговых деформаций можно объяснить, рассматривая радиальное сечение покрышки (рис. 99, *а*). При обжатии покрышки в площади контакта кривизна каркаса уменьшается, в связи с чем внутренние слои растягиваются интенсивнее, чем наружные (рис. 99, *б*).

В зоне боковины, наоборот, в связи с увеличением кривизны более интенсивно вытягиваются наружные слои. Рассматривая теперь часть сечения (рис. 99, *в*), можно установить, что равновесие внутренних и наружных слоев в отдельности возможно только при наличии касательных напряжений в междуслойной резине, уравнивающих разницу между нормальными напряжениями по экватору и по боковине.

Проблема измерения сдвиговых деформаций в межслойной резине целой шины до сих пор полностью не решена. Приближенно изменение сдвиговых деформаций по толщине стенки каркаса и по профилю может быть получено с помощью датчиков с базой 3 мм, устанавливаемых на срезе покрышки. Этот срез устанавливался в специальном приспособлении, позволяющем осуществить внутреннее давление на него и давать ему радиальную деформацию. Как видно из рис. 100, а, на котором приведено распределение сдвиговых деформаций по толщине стенки покрышки 210—20, в пределах беговой дорожки максимальные деформации сдвига возникают в зоне брекера, а на боковине наибольшие сдвиги перемещаются к средним слоям каркаса.

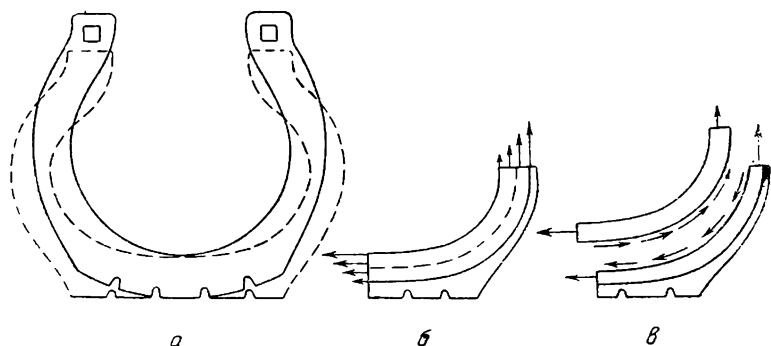


Рис. 99. Схема возникновения деформаций сдвига в межслойной резине.

На рис. 100, б показано распределение сдвиговых деформаций в брекере по профилю покрышки 210—20 при радиальном обжатии на 25 мм. Из приведенного графика видно, что в центре площади контакта сдвиги отсутствуют. Они достигают максимума в точке, лежащей против границы площади контакта, и снова убывают к боковине покрышки. При увеличении нагрузки на шину максимум сдвигов перемещается к краям беговой дорожки в соответствии с увеличением размеров площади контакта. Одновременно возрастает и величина максимальных сдвиговых деформаций.

Как видно из рис. 100, б, максимальные сдвиговые деформации в брекере при обжатии шины на плоскость достигают величины порядка 20%.

Естественно, что результаты, полученные не в целой шине, а на срезе, можно рассматривать лишь как качественные.

Необходимо отметить, что рассмотренный механизм образования сдвиговых деформаций в связи с изгибом стенок шины не является единственным. Значительные сдвиговые деформации возникают также вследствие поперечного эффекта при сжатии про-

тектора в зоне контакта. Сжимаемый контактным давлением участок протектора стремится увеличить свои размеры в поперечном направлении, но этому препятствуют более жесткие брекеры и каркас. Сдвиги этого типа максимальны в подканавочном слое протектора, на границе протектор—брекер и в зоне брекера.

Эти сдвиги особенно существенны при эксплуатации шин на плохих дорогах, когда протектор испытывает весьма большие

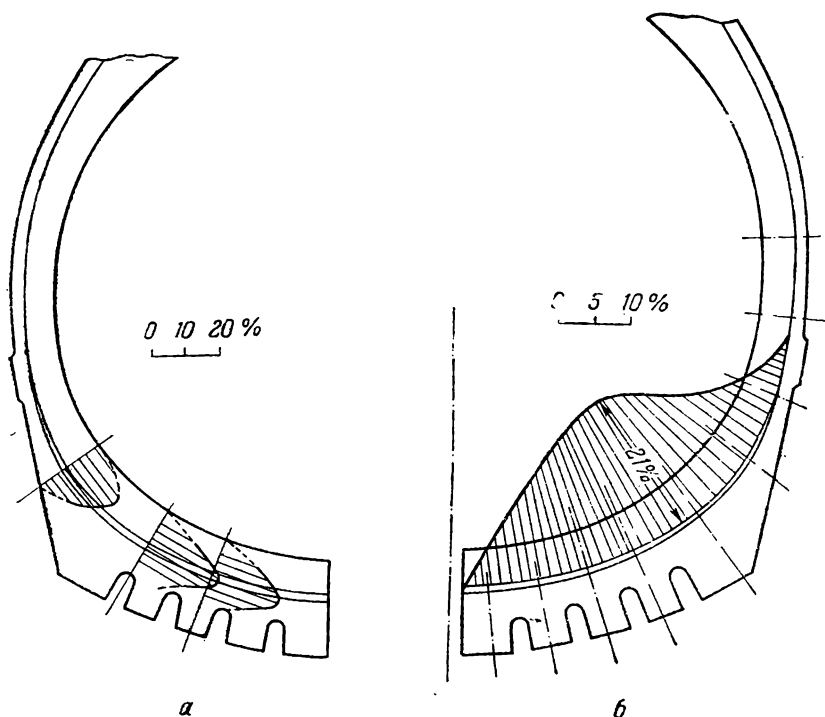


Рис. 100. Деформации сдвига при обжатии среза шины 210—20:

а — распределение деформаций по толщине стенки; б — изменение деформаций сдвига в зоне брекера по профилю.

местные сжатия при сосредоточенных нагрузках. Под влиянием сдвиговых деформаций может развиваться отслоение протектора или местное отслоение нитей корда в брекере от резины, приводящее в дальнейшем к разрушению шины.

В резиновом протекторе следует в отдельности рассмотреть работу шашек и подканавочного слоя.

Шашки протектора, находящиеся в пределах площади контакта шины с дорогой, нагружаются нормальным контактным давлением. Кроме того, в площади контакта возникают и сдвиговые усилия. При свободном качении колеса эти сдвиговые усилия

невелики. Они возрастают с увеличением воспринимаемой колесом тяговой или тормозной нагрузки. Максимальное значение сдвиговых усилий не превышает нормального давления, умноженного на коэффициент трения протекторной резины о дорогу.

Подканавочный слой протектора деформируется совместно с каркасом покрышки и воспринимает также усилия, передаваемые на него с шашек.

При переходе от шашек к подканавочному слою у закруглений канавок возникает значительная концентрация деформаций.

Распределение меридиональных деформаций по толщине протектора показано на рис. 101 (данные получены при обжатии среза). Из графика видно, что меридиональная деформация у дна

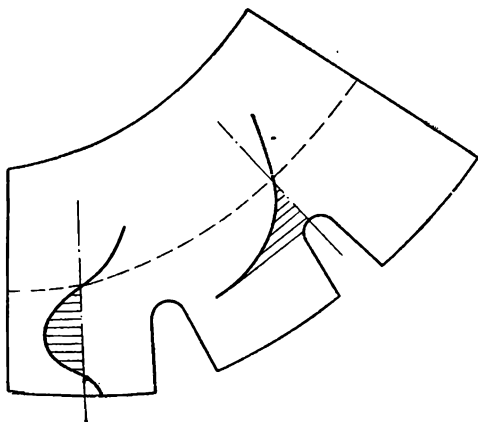


Рис. 101. Распределение меридиональных деформаций по толщине протектора в зоне контакта.

канавки примерно в 4 раза больше, чем деформация в основании шашки.

Обращает на себя внимание распределение деформаций по высоте шашки. В основании шашки (у подканавочного слоя) имеется укорочение в меридиональном направлении (в связи с изгибом каркаса). Удлинение в этом же направлении вблизи контакта с дорогой объясняется поперечной деформацией в связи с нормальным давлением на шашку.

Приведенные выше данные об изменении деформаций в слоях покрышки при качении шины по плоскости показывают, что деформации и напряжения в корде и резине изменяются циклически, причем продолжительность цикла соответствует одному обороту колеса.

Характерные кривые изменения деформаций корда приведены на рис. 102, а. Характерные кривые деформации резины даны на рис. 102, б.

Количество циклов деформации, выдерживаемых материалом за время эксплуатации покрышки, чрезвычайно велико. Так, например, долговечность шины 260—20 должна составлять около 80 тыс. км, а радиус качения $R_k = 0,485$ м.

Таким образом, за время эксплуатации шина делает

$$n = \frac{80 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 0,485} = 2,6 \cdot 10^7 \text{ оборотов}$$

Столько же раз повторяются и полные циклы деформации в элементах покрышки.

Приведенные выше данные о величинах деформаций различных элементов относятся к грузовым машинам. Деформации,

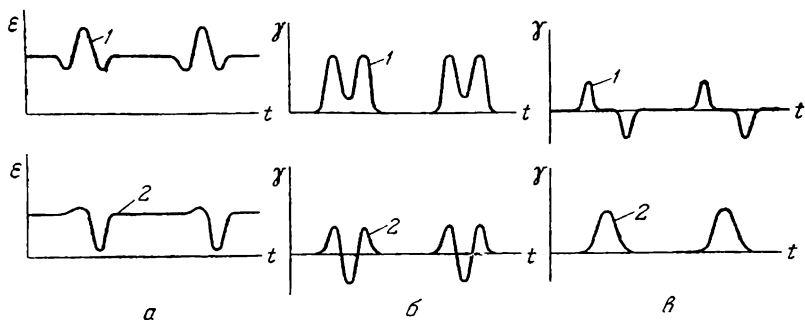


Рис. 102. Характерные циклы деформации:

a—деформации нити; *б*—сдвиговая деформация резины в слое; *в*—деформация сдвига межслойной резины. 1—по экватору; 2—по углу беговой дорожки. ϵ, γ —деформация; t —время.

испытываемые элементами шин легковых автомобилей, изменяются при качении по кривым такого же вида.

Основное отличие состоит в том, что нити корда легковых шин при нормальном режиме эксплуатации испытывают в зоне боко-

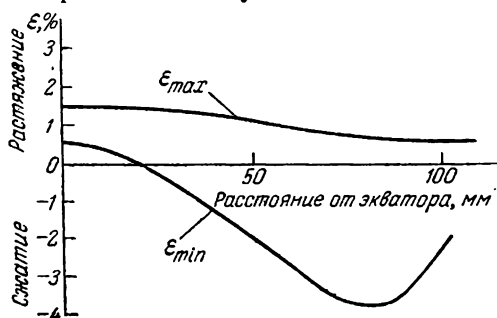


Рис. 103. Максимальная и минимальная деформация, испытываемая нитью в различных точках профиля (шина 6,70—15, нагрузка 480 кгс, давление 1,8 кгс/см²).

вины существенные деформации сжатия. Это объясняется тем, что для легковых шин относительный прогиб больше, чем для грузовых.

В качестве примера на рис. 103 приведены графики изменения максимальных и минимальных деформаций в нити корда шины

6,70—15 при нагрузке 480 кгс и внутреннем давлении 1,8 кгс/см².

Другим отличием является то, что деформация сдвига в межслойной резине и брекере легковых шин существенно меньше, чем в грузовых шинах. Это объясняется меньшей слоистостью и более низким внутренним давлением в легковых шинах.

При движении шины по неровной дороге и наездах на препятствия в элементах ее возникают значительно большие деформации и напряжения, чем при качении по гладкой поверхности. При этом в эксплуатационных условиях циклы деформаций при каждом обороте колеса различны.

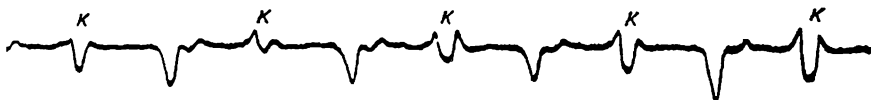


Рис. 104. Оциллограммы деформации нитей при качении шины по булыжнику (записи, соответствующие точкам нити на боковине и на экваторе, чередуются через одну; последние помечены буквой *к*).

На рис. 104 в качестве примера приведены оциллограммы деформации нитей корда по экватору и по боковине шины при движении автомобиля по булыжнику.

На оциллограмме записи датчиков, наклеенных на экваторе и на боковине, чередуются через одну; циклы, относящиеся к

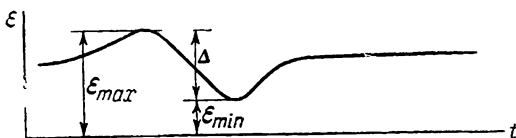


Рис. 105. Цикл изменения деформации.

экватору, отмечены буквой *к*. Разница в величине деформаций при каждом цикле определяется формой и величиной неровностей дороги, которые являются случайными.

Для суждения об интенсивности деформаций на разных дорогах при различных эксплуатационных условиях необходимо использовать статистическую обработку результатов экспериментов.

Дело усложняется тем, что каждый цикл деформации нельзя в общем случае охарактеризовать одной какой-либо величиной. Каждый цикл (рис. 105) может быть охарактеризован по меньшей мере тремя величинами: минимальной и максимальной деформациями ϵ_{\min} и ϵ_{\max} , а также размахом деформации $\Delta = \epsilon_{\max} - \epsilon_{\min}$.

Очевидно, что пока нет полной ясности, как каждая из этих величин влияет на прочность материала, необходимо работу материала в тех или иных условиях характеризовать кривыми распределения (частоты) всех трех параметров. Лишь в некоторых точках, где циклы деформации являются односторонними (например, нить корда по боковине), можно ограничиться одним показателем интенсивности деформации.

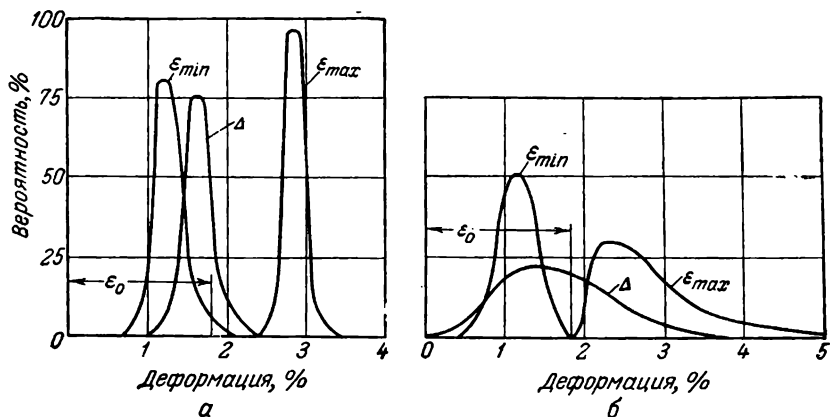


Рис. 106. Кривые распределения максимальных (ϵ_{\max}), минимальных деформаций (ϵ_{\min}) и размаха деформации (Δ) нити корда первого слоя по экватору шины 260—20 при движении автомобиля со скоростью 30 км/ч: а—по асфальтовой мостовой; б—по булыжной мостовой.

На рис. 106 представлены кривые распределения максимальных и минимальных деформаций нити корда первого слоя по экватору шины 260—20 при движении по асфальтовой и булыжной мостовой со скоростью 30 км/ч.

При обработке экспериментальных данных все деформации были разбиты на группы по 0,35%, причем под вероятностью понимается отношение количества циклов с деформацией ϵ_{\min} или ϵ_{\max} , лежащей в пределах данной группы, к общему количеству подвергнутых обработке циклов.

Из графика рис. 106 видно, что при нормальном эксплуатационном режиме (давление 4,5 кгс/см², нагрузка 1560 кгс) нить корда в центре беговой части шины остается в области растяжения при движении как по асфальту, так и по булыжнику. Кривые распределения, соответствующие асфальтовой мостовой, являются очень узкими. Практически все измеренные циклы укладываются в пределах одной группы (1/3%). Максимальная деформация нити достигает в этом случае 3% растяжения, минимальная—около 1% растяжения.

Кривые распределения, соответствующие качеству по булыжной мостовой, «размазаны». Наряду со значительным количеством циклов более безопасных, чем при движении по асфальтовой мостовой, встречаются и циклы с весьма большими максимальными деформациями до $5 \div 5,5\%$. Из этих кривых видно, что условия работы нити корда по экватору при движении по булыжнику значительно менее благоприятны, чем при движении по асфальту. Однако чтобы на основе кривых распределения оценить количественно работоспособность материала в тех или иных условиях, необходимо располагать результатами исследования усталостной прочности материала при программном нагружении.

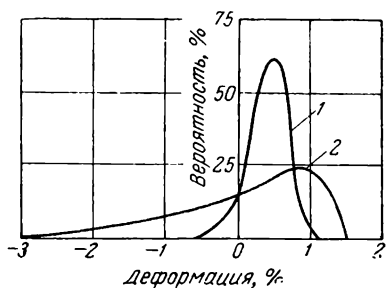


Рис. 107. Кривые распределения минимальных деформаций нити корда по боковине шины 260—20 при движении автомобиля со скоростью 30 км/ч по асфальтовой (1) и булыжной (2) мостовой ($\epsilon_{\max} = 1,5\%$).

Как уже указывалось, на боковине нить корда при качении испытывает только односторонние деформации. На начальное растяжение от внутреннего давления ($\epsilon \approx 1,5\%$) накладываются дополнительные деформации сжатия. В этом случае при всех циклах $\epsilon_{\max} = 1,5\%$. Кривые распределения минимальных деформаций в нити представлены на рис. 107.

Кривая распределения показывает, что на асфальтовой дороге нить корда по боковине остается в области растяжения лишь при 5% циклов, разгружаясь до нуля.

На булыжнике при 20% циклов нить корда испытывает сжатие. Максимальные деформации сжатия достигают 3%.

В кордном слое резина, заполняющая пространство между нитями, испытывает деформации сдвига и деформации растяжения в направлении, перпендикулярном нитям корда (см. стр. 122).

Величина деформаций сдвига в резине связана с средними деформациями слоя в окружном и меридиональном направлениях равенством

$$\gamma = (\epsilon_m - \epsilon_l) \sin 2\beta \frac{t}{t-d}$$

Для непосредственного измерения величины $\epsilon_m - \epsilon_l$ при дорожных испытаниях на покрышку наклеивались два датчика: один в окружном, другой в меридиональном направлении. Эти датчики включались в соседние плечи измерительного моста, причем показания измерительного прибора были пропорциональны разности $\epsilon_m - \epsilon_l$.

Кривые изменения разности $\varepsilon_m - \varepsilon_t$ по экватору при качении колеса имеют характерную форму, показанную на рис. 108. Каждый цикл может быть охарактеризован одной величиной максимального сдвига.



Рис. 108. Оциллограмма деформаций сдвига в слое по экватору.

Кривые распределения вероятности максимальных сдвигов резины в слое по экватору при движении автомобиля со скоростью 25 км/ч по асфальтовой и булыжной дорогам представлены на рис. 109.

При расчете все деформации были разделены на группы $\Delta\gamma = 3,5\%$. Как видно из рис. 109, влияние типа дороги на деформации резины в слое менее существенно, чем на деформации нити корда.

Полученные в результате проведенных в дорожных условиях исследований данные о деформациях элементов шины должны учитываться при установлении технических требований к материалам, при разработке лабораторных методов испытания шин и шинных материалов.

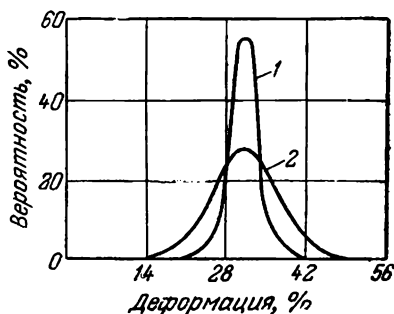


Рис. 109. Кривые распределения вероятности максимальных сдвиговых деформаций резины в слое по экватору при движении автомобиля по асфальтовой (1) и по булыжной (2) мостовой.

ПОТЕРИ НА КАЧЕНИЕ

Шинные материалы—корд и резина не являются идеально упругими. При их деформации часть работы затрачивается необратимо—превращается в тепло. Поэтому свободное качение шины, при котором материал ее испытывает циклические деформации, сопряжено с необратимым расходом энергии. Внешне это выражается в том, что для качения по плоскости со скоростью v шины, нагруженной вертикальной силой Q , надо приложить горизонтальную силу P_f (рис. 110). P_f называется силой сопротивления качению.

Из условий равновесия колеса ясно, что равнодействующая касательных сил в контакте также равна P_f , а равнодействующая

нормальных давлений, равная Q , смещена относительно центра площади контакта на величину a , так что

$$Qa = P_f R_c$$

Размер a называется сносом радиальной реакции.

Отношение силы сопротивления качению P_f к нагрузке на колесо Q называется коэффициентом сопротивления качению χ .

$$\chi = \frac{P_f}{Q}$$

Иногда в качестве характеристики потерь шины на качение вводят величину работы A_f , затрачиваемой на один оборот колеса:

$$A_f = P_f \cdot 2\pi R_k$$

где R_k —радиус качения колеса.

Величина потерь на качение является очень существенной характеристикой шины как с точки зрения влияния шины на динамику и экономичность автомобиля, так и с точки зрения прочности самой шины.

Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления качению, составляет значительную долю полной мощности автомобильного двигателя. Эта мощность полностью превращается в тепло, что приводит к нагреву шины. При неблагоприятных условиях температура в отдельных зонах шины превышает 100°C .

Увеличение температуры в свою очередь приводит к снижению прочности резины и корда и прочности связи между ними. Поэтому конструктор должен стремиться к снижению потерь на качение шины.

Поскольку потери на качение шины связаны в основном с потерями на внутреннее трение в резине и корде*, их величина зависит от свойств этих материалов, их количества и от величин испытываемых ими деформаций.

* При движении по гладкой, твердой поверхности потери на внешнее трение в контакте не превышают 10% от общих потерь.

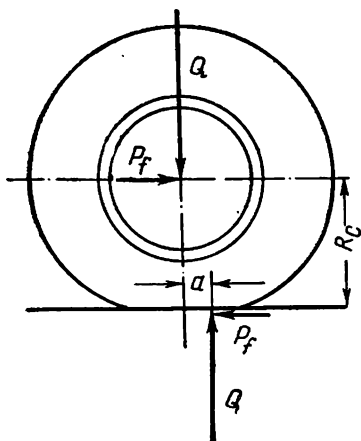


Рис. 110. Силы, действующие на колесо при свободном его качении

Опыты показывают, что до половины всех потерь приходится на долю протектора. Поэтому гистерезисные характеристики протекторной резины имеют первостепенное значение.

Так, в работе²² указывается, что для шины 34×7 , изготовленной полностью из НК, коэффициент сопротивления качению составлял $\chi = 0,008$ (скорость 30 км/ч , установившийся тепловой режим, нагрузка $Q = 1200 \text{ кгс}$, начальное внутреннее давление $p = 5,75 \text{ кгс/см}^2$). Для такой же шины, но с протектором и каркасом на основе СКБ он увеличился до $0,014$.

Увеличение нагрузки на шину в связи с увеличением деформаций ее элементов вызывает рост абсолютной величины потерь на качение. Однако коэффициент χ мало зависит от нагрузки.

При снижении внутреннего давления в шине деформации ее увеличиваются, а вместе с ними увеличиваются потери на качение. Это показано, в частности, на рис. 111, на котором представлена зависимость силы сопротивления качению шины $9,00-20$ от начального внутреннего давления (нагрузка 1560 кгс , скорость 50 км/ч).

Если определять потери при данной температуре шины, то с увеличением скорости качения потери несколько возрастают. Если же проводить испытания при установившемся температурном режиме*, то можно убедиться, что при увеличении скорости в известных пределах, потери немного снижаются. Это объясняется тем, что с увеличением скорости растет температура шины при установившемся режиме, а с ростом температуры уменьшаются гистерезисные потери в резине и корде.

При дальнейшем повышении скорости качения сверх некоторого определенного значения потери вновь резко увеличиваются, что связано с динамическими эффектами, возникающими при высоких скоростях качения шины. Эти эффекты подробно рассмотрены ниже (см. стр. 143).

Приведенные данные о потерях относятся к качению шины по твердой гладкой поверхности. При движении шины по грунту к работе, затрачиваемой на внутреннее трение в материалах шины, добавляется работа деформации грунта и образования колеи. Эта работа зависит от свойств грунта, его состояния и

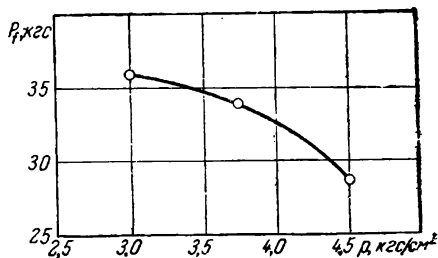


Рис. 111. Силы сопротивления качению шины $9,00-20$ в зависимости от начального внутреннего давления.

* Температурный режим шины устанавливается через $1,5-2$ ч испытания.

нагрузок, передаваемых на него шиной. Так, в частности, снижение внутреннего давления в шине приводит к уменьшению давления на грунт, уменьшению его деформации и, в конечном счете, к сокращению затрат работы на качение шины (см. гл. V).

ВОСПРИЯТИЕ ШИНОЙ ТЯГОВОЙ, ТОРМОЗНОЙ И БОКОВОЙ НАГРУЗОК

Тяговая и тормозная нагрузки

При воздействии на колесо ведущего момента M и соответствующей тяговой нагрузки P (рис. 112) условия работы шины изменяются в сравнении со свободным качением.

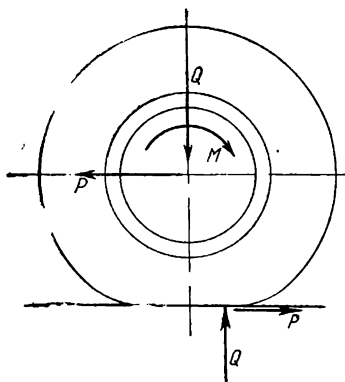


Рис. 112. Силы, действующие на ведущее колесо.

Это изменение в первую очередь касается распределения усилий в площади контакта²³. При свободном качении (см. рис. 81, стр. 104) касательные силы в площади контакта распределены почти симметрично относительно центра контакта и их равнодействующая, равная силе сопротивления качению, мала по сравнению с радиальной нагрузкой. При действии ведущего момента распределение касательных сил становится несимметричным, а их равнодействующая равна тяговой силе P . При этом в передней части площади контакта касательные силы возрастают, а в задней уменьшаются; расширяется и зона площади контакта,

в которой продольные касательные силы, приложенные к шине, направлены по движению. С увеличением тяговой силы в передней части контакта расширяется зона проскальзывания. При некотором предельном значении тяговой силы проскальзывание охватывает всю зону контакта—возникает буксование.

Зависимость радиуса качения от величины тяговой силы имеет вид, представленный на рис. 113. Небольшое уменьшение радиуса качения, пропорциональное тяговой силе, на участке AB объясняется увеличением сжатия в окружном направлении элементов протектора, входящих в контакт (см. формулу 61, стр. 100). Резкое уменьшение радиуса качения на участке BC связано с буксованием.

В некоторых случаях, в зависимости от характера поверхности дороги, участок BC зависимости $R_k(P)$ может быть неустойчивым (пунктир на рис. 113), так как начавшееся буксование приводит к уменьшению сцепления с дорогой.

Напряжения и деформации в элементах шины, возникающие при передаче тяговой нагрузки, недостаточно изучены. Можно, однако, показать, что дополнительные усилия в нитях корда, вызываемые тяговой нагрузкой, невелики в сравнении с усилиями, обусловленными внутренним давлением и радиальной нагрузкой. Порядок величины этих усилий можно установить, разделив тяговую силу на полное число нитей корда, проходящих через площадь контакта. Касательные усилия в протекторе и подпротекторной зоне, связанные с передачей тяговой силы, на гладкой дороге также невелики, так как их величина ограничена при движении на низких передачах сцеплением с дорогой, а при движении на высших передачах — мощностью двигателя. Эти усилия могут быть очень значительными при движении по неровной твердой

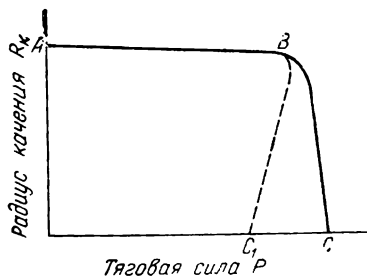


Рис. 113. Зависимость радиуса качения от величины тяговой силы.

дорогой, а при движении на высших передачах — мощностью двигателя. Эти усилия могут быть очень значительными при движении по неровной твердой

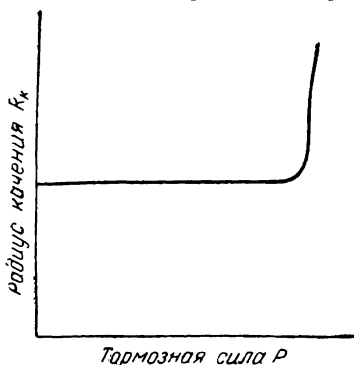


Рис. 114. Зависимость радиуса качения от величины тормозной силы.

дорогой, где возникают сосредоточенные нормальные и касательные силы. В ряде случаев (в частности, при движении по скалистому грунту) сосредоточенные касательные силы вызывают срыв элементов протектора.

Увеличение проскальзывания элементов протектора в зоне контакта при воздействии тяговой силы приведет к ускоренному, в сравнении со свободным качением, износу протектора.

Явления, возникающие при воздействии на колесо тормозного момента и тормозной силы, подобны явлениям, имеющим место при передаче тяговой силы.

В этом случае с увеличением тормозного момента увеличиваются касательные силы в задней части площади контакта и расширяется та зона этой площади, где продольные касательные силы, приложенные к шине, направлены против движения. При предельном значении тормозного момента проскальзывание распространяется на всю площадь контакта: возникает юз. С увеличением тормозной силы радиус качения увеличивается, а при возникновении юза становится неопределенным (рис. 114).

Так же, как и тяговая сила, тормозная нагрузка приводит к увеличению износа протектора. При этом при полном затормаживании и движении юзом возникает местный износ.

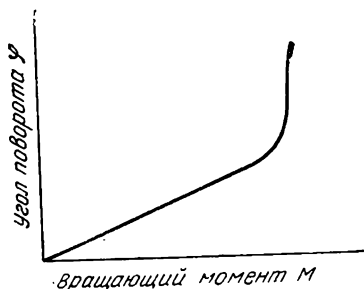


Рис. 115 Характер зависимости угла поворота колеса от вращающего момента.

Существенной характеристикой шины является ее окружная податливость. Для экспериментального определения окружной податливости шины к закрепленной в подшипниках оси колеса, нагруженного радиальной нагрузкой Q , прикладывают вращающий момент M . При этом регистрируют угол поворота диска φ . В некотором диапазоне изменения M , пока не начинается проскальзывание, зависимость $M(\varphi)$ близка к линейной (рис. 115).

В качестве характеристики окружной податливости шины принимают отношение $\frac{\varphi}{M}$, на прямолинейном участке зависимости $M(\varphi)$.

Боковая нагрузка

При воздействии боковой нагрузки P_6 на неподвижное, нагруженное радиальной силой колесо (рис. 116, а) плоскость колеса смещается за счет деформации шины на некоторый отрезок f_6 . Пока нагрузка P_6 мала и проскальзывание в площади контакта отсутствует, перемещение f_6 прямо пропорционально нагрузке P_6 . Отношение

$$\frac{f}{P_6} = \lambda_6$$

называется 'боковой' податливостью (или боковой эластичностью) шины. Площадь контакта шины при воздействии боковой нагрузки несколько изменяет свою форму, но остается симметричной относительно поперечной оси AA (рис. 116, б). При этом в контакте возникают дополнительные боковые касательные силы, также симметричные относительно оси AA .

Равнодействующая этих сил равна боковой нагрузке P_6 .

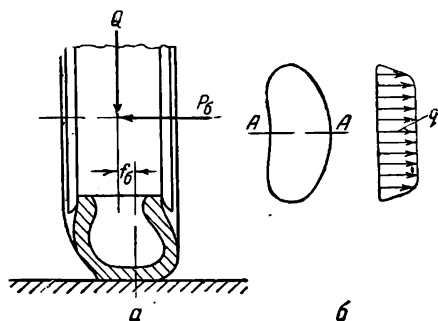


Рис. 116. Воздействие боковой нагрузки на неподвижное колесо:

а—характер деформаций шины; б—площадь контакта и распределение боковых контактных сил.

Совершенно иначе обстоит дело при приложении боковой нагрузки к катящемуся колесу. В этом случае, поскольку элементы протектора входят в контакт недеформированными в боковом направлении, интенсивность боковых касательных сил на входе в контакт равна нулю. Эти силы постепенно увеличиваются по мере увеличения боковой деформации при движении элемента к выходу из контакта.

Таким образом, распределение боковых контактных сил становится несимметричным относительно оси AA (рис. 117). Несим-

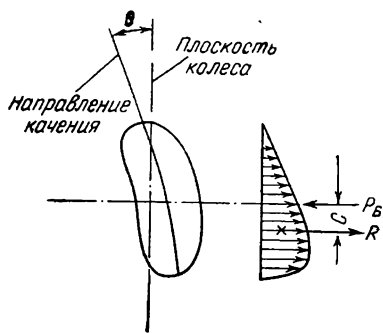


Рис. 117. Площадь контакта и распределение боковых контактных сил при качении колеса, нагруженного боковой силой.

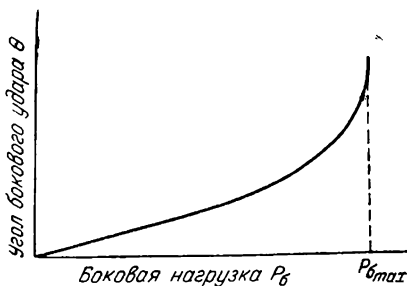


Рис. 118. Зависимость угла бокового удара колеса от боковой нагрузки.

метричными становятся и деформации шины и форма площади контакта. Если, как это изображено на рисунках, боковая сила действует на колесо справа налево, то при качении каждый новый элемент протектора входит в контакт левее, чем соответствующий предыдущий. В результате направление движения колеса уже не совпадает с плоскостью его вращения, а составляет с ней некоторый угол θ (рис. 117).

Указанное явление называется боковым уводом колеса, а угол θ —углом бокового удара.

Боковой увод колес в большой мере влияет на управляемость и устойчивость движения автомобиля²⁴⁻²⁶.

При воздействии боковой нагрузки проскальзывание в боковом направлении имеет место в задней части площади контакта, где возникают максимальные касательные силы. С увеличением боковой нагрузки P_b зона проскальзывания расширяется, и при некотором предельном значении $P_{b_{\max}}$ наступает боковой занос—шина перестает «держатъ дорогу». Характерный вид зависимости угла бокового удара от величины боковой силы представлен на рис. 118.

Так как контактные боковые силы в задней части площади контакта больше, чем в передней, то равнодействующая этих сил R , равная P_6 (см. рис. 117), смещена назад относительно середины контакта. Возникающий при этом момент $M_{ст} = P_6 c$ стремится повернуть плоскость колеса по направлению движения; этот момент называется стабилизирующим. Зависимость стабилизирующего момента от угла увода колеса имеет вид, представленный на рис. 119. Уменьшение стабилизирующего момента при больших углах увода связано с расширением зоны проскальзывания и соответствующим уменьшением плеча c боковой реакции.

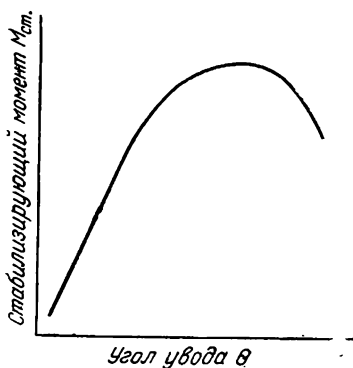


Рис. 119. Зависимость стабилизирующего момента от угла увода.

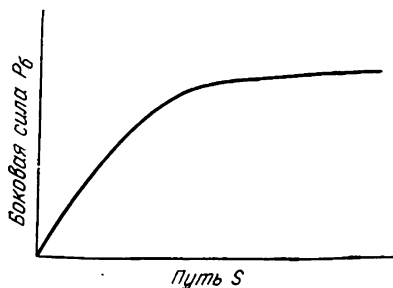


Рис. 120. Зависимость боковой силы от пути, пройденного после мгновенного поворота колеса.

Рассмотренные выше явления относятся к установившемуся боковому уводу колеса, когда и угол увода θ и боковая сила P_6 постоянны во времени.

В вопросах управляемости и устойчивости движения автомобиля важное значение имеет поведение шины при неустановившемся режиме движения. Предположим, например, что плоскость диска, катящегося по прямой колеса, мгновенно повернута на угол θ . Ясно, что в этом случае соответствующая боковая реакция P_6 возникает не сразу, а лишь через некоторое время, необходимое для осуществления боковой деформации шины. Зависимость P_6 от пути S , пройденного колесом после мгновенного поворота его плоскости, представлена на рис. 120.

Таким образом, например, сила, вызывающая поворот автомобиля, развивается лишь постепенно после поворота рулевого колеса. Вопрос о неустановившихся режимах качения колеса при боковых нагрузках еще недостаточно изучен.

Развивающееся при боковом уводе проскальзывание в зоне контакта шины с дорогой приводит к ускоренному износу протектора шин. Поэтому для обеспечения долговечности шин очень

важно снижение боковых нагрузок в эксплуатации. Снижение этих нагрузок возможно при правильном вождении автомобиля— прохождении поворотов на сниженных скоростях. Очень важна также правильная установка схождения передних колес. При большом схождении передние колеса движутся все время с принудительным боковым уводом и шины интенсивно изнашиваются.

Из вышесказанного следует большая важность сопротивления шины боковым нагрузкам как для движения автомобиля, так и для долговечности самой шины. Из самой природы бокового увода, вызываемого несимметрией деформации шины, следует, что чем больше податливость беговой части шины, тем больше и боковой увод. Расчленение протектора, увеличение его калибра и снижение жесткости резины приводят к увеличению бокового увода.

Влияние жесткости каркаса шины на боковой увод является более сложным. Даже при большой боковой податливости каркаса угол увода может быть небольшим, так как существенна не абсолютная величина бокового прогиба шины, а разница прогибов на входе в контакт и выходе из него.

Если подпротекторная часть каркаса достаточно жестка (мощный брекер), то даже при очень податливых боковых стенках (например, в шинах типа Р) увод будет небольшим.

Вместе с тем увеличение податливости каркаса (за счет низкого внутреннего давления или особой конструкции) всегда приводит к замедлению установления режима качения при боковом уводе и соответственно к некоторому ухудшению управляемости автомобиля («вязкий руль»).

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ШИН ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ КАЧЕНИЯ

Напряжения в элементах шины, вызываемые центробежными силами

При быстром вращении шины к каждому ее элементу с массой dm приложена радиально направленная центробежная сила, равная

$$dQ = dm \omega^2 r$$

где r —расстояние элемента от оси вращения, ω —угловая скорость вращения шины.

Центробежные силы вызывают изменение формы профиля шины. Наружный диаметр ее увеличивается, ширина профиля уменьшается, как это показано на рис. 121.

Расчет изменения размеров шины под действием центробежных сил рассмотрен в работе²⁷. Этот расчет, основанный на вариационных методах решения уравнений равновесия резино-кордной оболочки, является довольно сложным. Приближенно можно

считать, что увеличение радиуса шины под действием центробежных сил пропорционально их интенсивности и составляет:

$$\Delta R = k \frac{q_0 \omega^2 R}{\rho} B \quad (71)$$

где q_0 —масса, приходящаяся на 1 см² беговой дорожки; R —наружный радиус шины; B —ширина ее профиля; ρ —внутреннее давление. Коэффициент k зависит от соотношений между размерами шины и от распределения массы по ее профилю. Он уменьшается с увеличением ширины обода, угла нити корда по экватору и жесткости корда. Опыты дают для различных шин значения в пределах $0,1 < k < 0,2$. Формула (71) может быть использована до значения $\frac{q_0 \omega^2 R}{\rho} \leq 0,5$; при больших значениях этой величины рост ΔR замедляется.

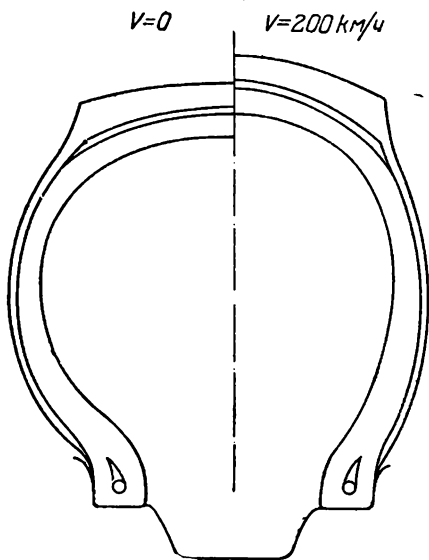


Рис. 121. Равновесный профиль шины 7,50—16 при нулевой скорости и при скорости 200 км/ч.

Рассмотрим усилия, возникающие в каркасе шины при действии центробежных сил. Составим сумму проекций на ось вращения шины всех сил, действующих на часть шины, вырезанную цилиндрическим и коническим сечениями (рис. 122).

Легко усмотреть, что центробежные силы Q не входят в уравнение равновесия, так как они перпендикулярны указанной оси. Поэтому уравнение равновесия имеет такой же вид, как и для невращающейся шины [см. уравнение (42) на стр. 73], и интенсивность усилий T_m составит:

$$T_m = \rho \frac{r^2 - r_0^{*2}}{2r \cos \varphi^*}$$

где нулевой радиус r_0^* и угол φ^* между нормалью и осью симметрии профиля берутся для деформированной центробежными силами шины.

Усилие в нити корда N можно найти как

$$N = \frac{T_m}{ni^* \cos^2 \beta^*} = \rho \frac{r^2 - r_0^{*2}}{2rni^* \cos \varphi^* \cos^2 \beta^*}$$

В частности, для усилия по экватору ($\varphi^* = 0, r = R^*, \beta = \beta_k^*$) получим:

$$N_k = \rho \frac{R^{*2} - r_0^{*2}}{2R^* n i^* \cos^2 \beta_k^*}$$

Эта формула отличается от формулы (53), определяющей усилия в нити корда по экватору при отсутствии вращения, только тем, что в нее входят величины R и r_0 , а также i_k и β_k для деформированной центробежными силами шины.

Подсчеты показывают, что в большинстве случаев величина усилия в нити корда по экватору шины мало изменяется при действии центробежных сил. Вместе с тем центробежные силы оказывают большое влияние на величину усилий в нитях корда в бортовой части шины и на величину усилий в бортовых кольцах.

Но поскольку начальные усилия от внутреннего давления по экватору значительно больше, чем в бортовой части, при умеренных скоростях качения усилие в нити корда вблизи борта остается меньшим, чем по экватору,

и лишь при весьма больших скоростях это усилие за счет инерционной добавки может превысить величину усилия по экватору.

Определение усилий в бортовых кольцах связано со значительными затруднениями²⁷, однако приближенно оценить их величину можно на основе следующих соображений.

Рассмотрим равновесие половины шины, рассеченной по диаметру (рис. 123), причем учтем только дополнительные инерционные усилия, возникающие при вращении шины, и пренебрежем изменением площади поперечного сечения шины при деформации.

Спроектировав все силы на нормаль к сечению, найдем:

$$4P_n + 2 \int_s T_i^u ds = \int_F \int r \omega^2 \sin \theta dm$$

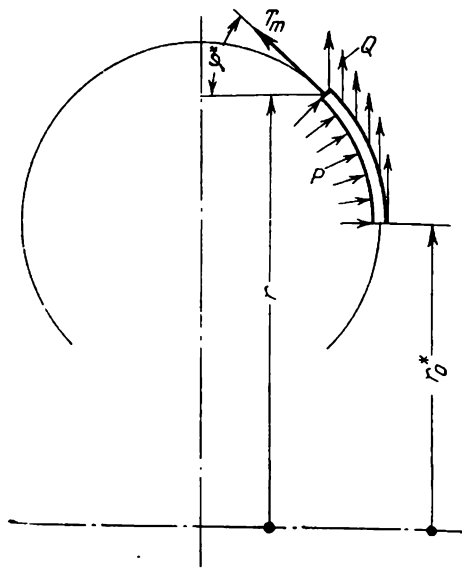


Рис. 122. К определению усилий в нитях корда с учетом центробежных сил.

где P_n —инерционное усилие в борте; T_t^n —интенсивность инерционного окружного усилия в каркасе;— $r\omega^2 dm$ —инерционная сила, приложенная к элементу dm массы шины.

Заменяя $dm = qrd\theta ds$, где q —масса 1 см^2 стенки шины, и интегрируя по θ от нуля до π , получим:

$$4P_n + 2 \int_s T_t^n ds = 2\omega^2 \int_s qr^2 ds$$

где интегрирование выполняется по профилю шины.

Если пренебречь в этой формуле инерционными усилиями в нитях корда в сравнении с усилиями в бортовых кольцах*, то мы получим:

$$P_n = \frac{\omega^2}{2} \int_s qr^2 ds \quad (72)$$

Для вычисления интеграла может быть использован любой числовой или графический метод. Так, если считать, что удельный вес кордных слоев равен удельному весу резины γ , то

$$q = \frac{\gamma}{g} t$$

где t —толщина стенки шины в данной точке; g —ускорение силы тяжести. Тогда

$$\int qr^2 ds = \frac{\gamma}{g} I_0$$

где $I_0 = \int_s r^2 t ds$ —момент инерции площади сечения шины относительно оси вращения, который может быть вычислен путем разбиения сечения на простейшие фигуры.

Можно также использовать равенство

$$\int qr^2 ds = \frac{m}{4} R_n$$

где m —масса всей шины, R_n —расстояние от оси вращения до центра тяжести половины шины.

* Как уже было указано, инерционные усилия в нитях беговой части незначительны, пренебрежение же усилиями в остальной части каркаса приводит к преувеличению усилий в кольцах и идет, таким образом, в запас прочности.

Приближенно*

$$R_{ц} = \frac{2}{\pi} R_6 \frac{1 + \frac{2}{3} \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{R_6^3 - r_{об}^3}{R_6^2 b}}{1 + \frac{q_2}{q_1} \cdot \frac{R_6^2 - r_{об}^2}{R_6 b}}$$

Входящие в эту формулу размеры показаны на рис. 124, q_1 и q_2 — средняя масса единицы площади соответственно беговой дорожки и боковых стенок шины. При близких плотностях кордных слоев и резины отношение $\frac{q_2}{q_1}$ может быть заменено отношением средних толщин боковой стенки и беговой части шины. Используются и другие формулы для вычисления $R_{ц}$.

Величина инерционной нагрузки на кольцо $P_{и}$ должна быть добавлена к нагрузке, обусловленной внутренним давлением и натягом.

Зная $P_{и}$, можно также приближенно оценить дополнительные инерционные усилия в нитях корда в зоне обода $N_{и об}$. Действительно, интенсивность меридионального усилия $T_m^и$ связана с усилием в кольце $P_{и}$ и с $N_{и об}$, следующим выражением:

$$T_m^и = N_{и об} \cdot (ni)_{об} \cdot \cos^2 \beta_{об} = \frac{P_{и}}{r_{об}}$$

откуда

$$N_{и об} = \frac{P_{и}}{r_{об} \cdot (ni)_{об} \cdot \cos^2 \beta_{об}}$$

Критическая скорость качения шины

При увеличении скорости качения пневматической шины до некоторого предела условия ее качения изменяются. Резко увеличиваются потери на качение шины и на ее поверхности возникают волны, неподвижные в пространстве, но движущиеся со скоростью качения относительно материала шины.

* Для вывода этой формулы следует заменить контур покрышки прямоугольником.

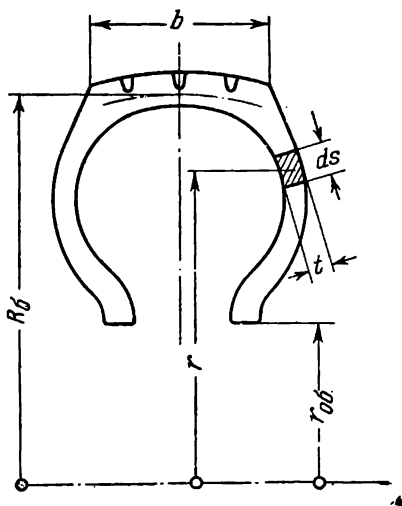
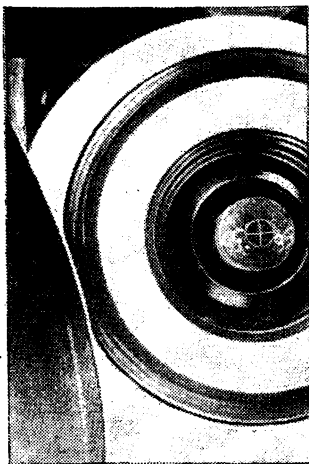
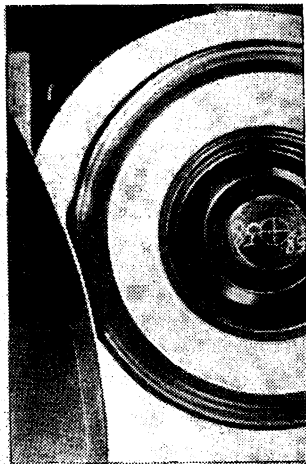


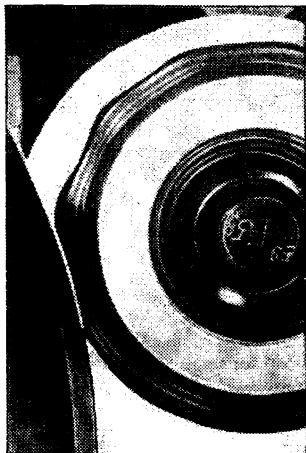
Рис. 124. К определению инерционных усилий в бортовых кольцах.



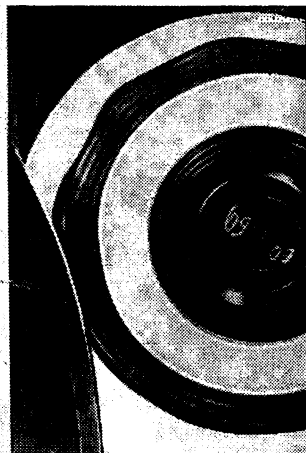
a



б



в



г

Рис. 125. Качение шины 7,50—16 по беговому барабану со скоростями (в км/ч):

a—50; *б*—150; *в*—200; *г*—250 км/ч (нагрузка 720 кгс, давление 1,5 кгс/см²).

Скорость, при которой происходит резкое изменение условий качения шины, называется критической.

Экспериментальное изучение явления критической скорости выполнено с большой полнотой. В качестве примера на рис. 125 показаны фотографии шины 7,50—16 при качении ее по барабану испытательного станка со скоростями 50, 150, 200 и 250 км/ч. Как видно из рисунка, уже при скорости 150 км/ч на поверхности шины после выхода из контакта имеется волна. При дальнейшем повышении скорости увеличивается амплитуда колебаний и число различных волн, а также увеличивается длина волны.

Изменение потерь на качение в той же шине²² приведено на рис. 126. При небольших скоростях качения коэффициент сопротивления качению мало зависит от скорости, но, начиная с

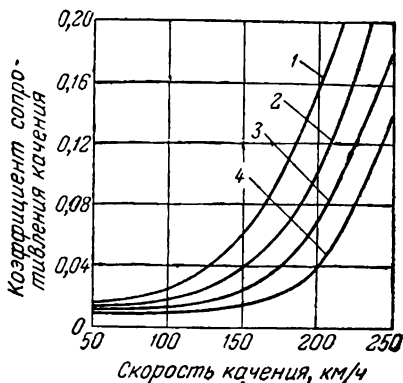


Рис. 126. Потери на качение шины 7,50—16 в зависимости от скорости: Внутреннее давление p (в кгс/см²): 1—1,5; 2—2,5; 3—3,5; 4—5.

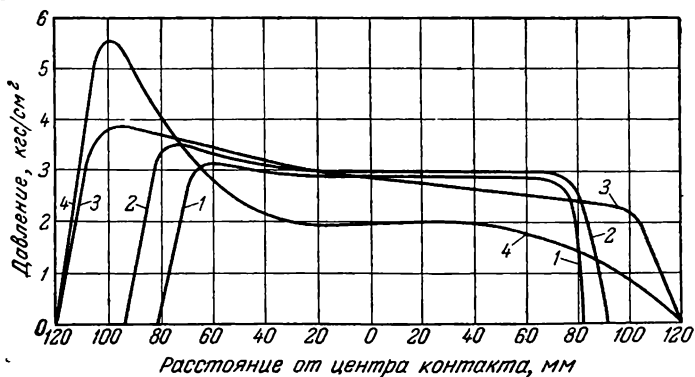


Рис. 127. Распределение давления по продольной оси симметрии площади контакта шины 7,50—16 при различных скоростях качения (нагрузка 785 кгс, давление 2,5 кгс/см²).

Скорость качения (в км/ч): 1—25; 2—100; 3—150; 4—180.

некоторой скорости, потери растут очень быстро и увеличиваются во много раз. Величина скорости, при которой начинается быстрый рост потерь, тем больше, чем больше внутреннее давление в

шине. С увеличением скорости изменяется и распределение сил в зоне контакта и деформации элементов шины. Эпюры давления в площади контакта шины 7,50—16 при различных скоростях качения показаны на рис. 127. Сопоставление кривых свидетельствует о том, что с увеличением скорости качения длина контакта увеличивается, причем давление вблизи входа в контакт возрастает, а вблизи выхода уменьшается. При скорости 180 км/ч у входа в контакт имеется резкий пик давления, а у выхода кривая давления полого спадает.

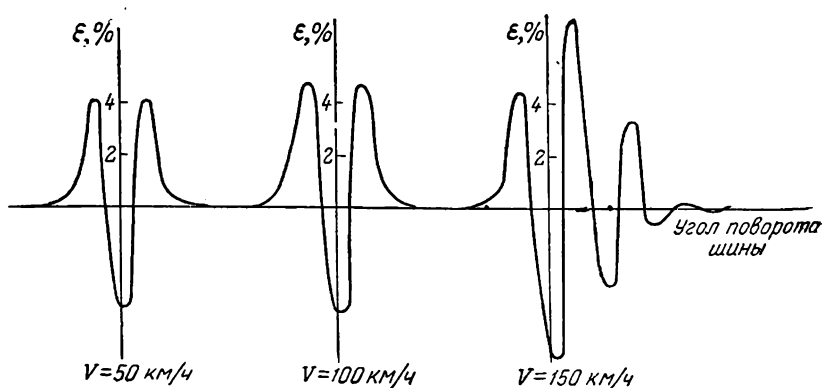


Рис. 128. Меридиональные деформации наружного слоя шины 7,50—16 (50 мм от экватора) при различных скоростях качения (нагрузка 400 кгс, давление 1,5 кгс/см²).

Характер изменения деформаций элементов шины в зависимости от скорости качения виден, например, из рис. 128. На этом рисунке представлены снятые при различных скоростях качения осциллограммы меридиональной деформации наружного слоя шины 7,50—16 в 50 мм от экватора. При небольших скоростях (в данном случае до 100 км/ч) деформации практически не зависят от скорости качения. При повышении скорости сверх 140 км/ч амплитуда деформации резко увеличивается и форма кривой изменяется—появляются дополнительные колебания после выхода из контакта. При этих же скоростях становится различной и волна на поверхности катящейся шины.

Вообще с повышением скорости качения долговечность шин падает, что при умеренных скоростях связано главным образом с увеличением температуры шины и соответствующим уменьшением прочности шинных материалов. При приближении скорости качения к критической падение долговечности становится особенно резким и при наличии волны долговечность шин измеряется

обычно минутами. Сокращение долговечности в этом случае объясняется резким увеличением амплитуд деформаций элементов шин. Основная причина выхода шин из строя при высоких скоростях — отслоение протектора.

Явления, возникающие при критической скорости, ограничивают возможность использования шин при высоких скоростях движения. Поэтому для скоростных автомобилей и самолетов необходимо проектировать специальные шины с возможно более высокой критической скоростью.

Установлено¹⁴, что критическая скорость шины — это скорость распространения деформаций по ее окружности.

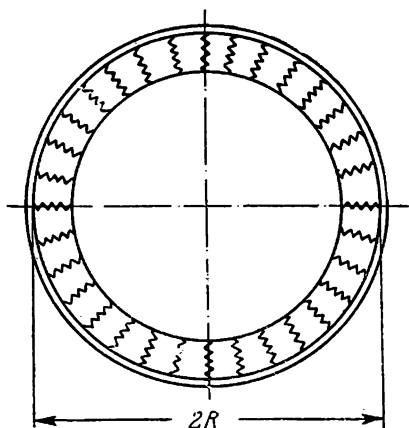


Рис. 129. Динамическая модель шины.

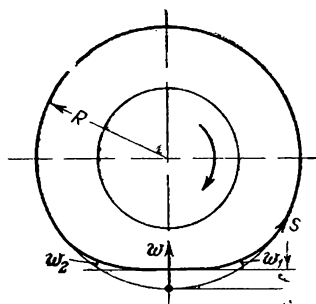


Рис. 130. Система координат s, ω .

Ввиду сложности теоретического исследования качения реальной шины, для установления основных особенностей ее поведения при высоких скоростях целесообразно рассмотреть ее простейшую модель.

Такую модель можно представить (рис. 129) как растянутое гибкое кольцо с распределенной массой, лежащее на сплошном упругом основании⁸. Кольцо моделирует беговую дорожку шины, а упругое основание заменяет боковые стенки шины. Предполагается также, что радиальное перемещение кольца связано с затуханием.

Такое кольцо представляет собой весьма простую механическую систему, и поведение его при качении может быть полностью рассчитано.

Если связать с кольцом поступательно движущуюся систему координат (рис. 130), отсчитывая дугу s от середины контакта и принимая положительное направление отсчета к набегающей

части шины, то можно показать²⁸, что прогибы w кольца описываются дифференциальным уравнением

$$(T - \mu v^2) \frac{d^2 w}{ds^2} + k_1 \frac{dw}{ds} - k w = -q \quad (73)$$

где T —растягивающее усилие в кольце, μ —масса единицы его длины, v —скорость качения; коэффициент k_1 характеризует затухание, k —жесткость упругого основания. Интенсивность внешней нагрузки q отлична от нуля только в пределах зоны контакта, вне этой зоны $q=0$.

Поэтому везде, за исключением зоны контакта, прогибы модели определяются однородным уравнением

$$(T - \mu v^2) \frac{d^2 w}{ds^2} + k_1 \frac{dw}{ds} - k w = 0 \quad (74)$$

Частное решение этого уравнения можно представить в виде

$$w = e^{cs}$$

Подставляя это выражение в уравнение и сокращая на e^{cs} , получим квадратное уравнение, определяющее коэффициент c

$$(T - \mu v^2)c^2 + k_1 c - k = 0$$

откуда находим два значения c :

$$c_1 = -\frac{\sqrt{k_1^2 + 4k(T - \mu v^2)} + k_1}{2(T - \mu v^2)}$$

$$c_2 = \frac{\sqrt{k_1^2 + 4k(T - \mu v^2)} - k_1}{2(T - \mu v^2)}$$

Пока скорость качения v мала, величина c_1 отрицательна, а величина c_2 —положительна и, следовательно, уравнение (74) имеет два решения—убывающее с увеличением дуги s :

$$w_1 = A e^{c_1 s}$$

и возрастающее с ее ростом:

$$w_2 = B e^{c_2 s}$$

A и B постоянные, которые могут быть определены из условий сопряжения свободной части модели и зоны контакта.

Для описания деформаций пригодны лишь решения, убывающие по мере удаления от зоны контакта. Поэтому деформации в набегающей части (перед входом в контакт), где $s > 0$, определяется выражением w_1 , а после выхода из контакта, где $s < 0$, выражением w_2 . С увеличением скорости качения v величина $T - \mu v^2$

убывает и величины c_1 и c_2 растут по абсолютной величине. При $v > \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ оба коэффициента становятся положительными. В этом случае уравнение (74) уже не имеет решений, убывающих с ростом s , которые могли бы описать деформации кольца перед входом в контакт.

Отсутствие таких решений свидетельствует о том, что набегающая часть кольца при $v > \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ остается недеформированной. Скорость

$$v_{кр.} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (75)$$

представляет собой скорость распространения волн по кольцу (такова же скорость распространения волн по струне, натянутой силой T при массе единицы длины μ).

Если скорость качения больше $v_{кр.}$, то материал кольца движется быстрее, чем по нему может распространяться деформация, вызванная нагрузкой, приложенной в зоне контакта.

Именно поэтому кольцо перед входом в контакт остается в этом случае недеформированным.

При небольшом увеличении скорости сверх критической оба коэффициента c_1 и c_2 становятся комплексными с положительной действительной частью:

$$c_{1,2} = \alpha \pm \beta \sqrt{-1}$$

где

$$\alpha = \frac{k_1}{2(\mu v^2 - T)}; \quad \beta = \frac{\sqrt{4k(\mu v^2 - T) - k_1^2}}{2(\mu v^2 - T)}$$

При этом уравнение (74) имеет решение

$$\omega = e^{\alpha s} (A \cos \beta s + B \sin \beta s)$$

описывающее затухающие волны за выходом из контакта.

Важной особенностью качения кольца со скоростью большей критической является наличие сосредоточенной ударной силы P_j при входе в контакт (рис. 131, а). Эта сила возникает в результате резкого изменения направления движения материала при входе в контакт.

Величину силы P_j легко определить, рассматривая изменение количества движения малого участка кольца у входа в контакт (рис. 131, б). За время dt этот участок переместится в положение, показанное пунктиром, в связи с чем вертикальная составляющая количества его движения уменьшится на величину $\mu v dt \sin \varphi$. Вертикальная проекция импульса сил, приложенных к участку за то же время, составит

$$(P_j + T \sin \varphi) dt$$

Приравнивая изменение количества движения импульсу силы, найдем

$$P_i = (\mu v^2 - T) \sin \varphi$$

И, наконец, выражая $\sin \varphi$ через прогиб f и наружный радиус модели R ($\sin \varphi \approx \sqrt{\frac{2f}{R}}$), получим:

$$P_i = T \left(\frac{v^2}{v_{кр.}^2} - 1 \right) \sqrt{2 \frac{f}{R}}$$

Ударная сила P_i дает относительно оси модели момент

$$M_i = P_i a \approx T \left(\frac{v^2}{v_{кр.}^2} - 1 \right) 2f$$

Этот момент, препятствующий качению модели, быстро возрастает с увеличением скорости сверх критической.

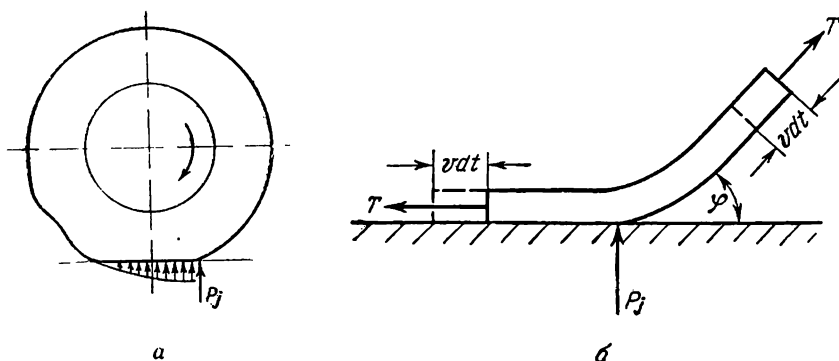


Рис. 131. Ударная реакция P_j при входе в контакт (а); к вычислению ударной реакции (б).

Решение дифференциального уравнения (73) с учетом граничных условий (заданные прогибы в зоне контакта) позволяет проследить изменение формы модели, удельных давлений в зоне контакта, сопротивления качению²⁸.

Такой расчет выполнен при следующих данных: $R=40$ см, $T=720$ кгс, $\kappa=14,7$ кгс/см², $\kappa_1=18$ кгс/см, $\mu=40 \cdot 10^{-6}$ кгс·сек²/см².

Эти величины подобраны так, что при малой скорости движения модель при прогибе $f=23$ мм воспринимала нагрузку 780 кгс при длине зоны контакта 165 мм и коэффициенте сопротивления качению $\chi=0,01$. Указанные цифры соответствуют качению шины 7,50—16 при внутреннем давлении 2,5 кгс/см². Величина μ принята равной действительной массе материала этой шины в пределах 1 см длины беговой дорожки. При этих данных критическая скорость составляет:

$$v_{кр.} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = 4,24 \cdot 10^3 \text{ см/сек} = 152,5 \text{ км/ч}$$

Расчетная конфигурация модели при нулевой скорости и при скорости $v=175$ км/ч, на 15% превышающей критическую, показана на рис. 132. На рис. 133 представлена расчетная зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости. Быстрый рост этого коэффициента при скоростях, больших критической, объясняется главным образом наличием ударной силы на входе в контакт*.

Близкое соответствие вида кривой коэффициента сопротивления качению, а также формы волн при качении со сверхкритической скоростью для модели и для реальной шины не оставляет сомнения в том, что в обоих случаях природа критической скорости одинакова. Критическая скорость есть скорость распространения свободных колебаний по окружности шины.

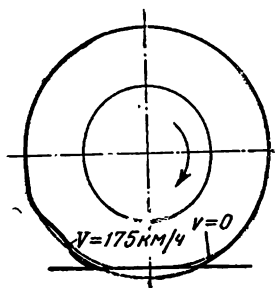


Рис. 132. Расчетные конфигурации модели при $v=0$ и при $v=175$ км/ч.

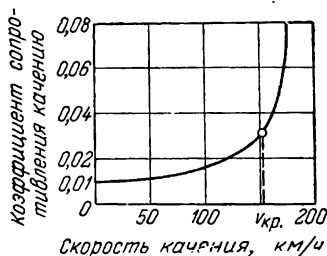


Рис. 133. Зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости качения для модели.

Модель шины в виде упруго опертого кольца очень удобна для выявления качественной картины явлений, имеющих место при критической скорости. Она может быть также использована для приближенного расчета критической скорости шины. Для этого следует лишь подсчитать силу, растягивающую в шине кольцо беговой дорожки, массу одного сантиметра длины и произвести подсчет по формуле (75).

Интенсивность меридионального усилия T_m в любой точке шины определяется формулой (50)

$$T_m = \frac{\rho (R^2 - r_0^2) \cos \beta_k}{2r \cos \beta}$$

* Интересно отметить, что потери, связанные с ударной силой, совершенно не зависят от внутреннего трения в материале. Они носят чисто инерционный характер. Энергия, затраченная на преодоление ударной силы, рассеивается затем при свободных колебаниях элементов после выхода из контакта.

Интересующая же нас интенсивность окружного усилия T_t связана с T_m формулой (43):

$$T_t = T_m \operatorname{tg}^2 \beta = \frac{\rho (R^2 - r_0^2) \cos \beta_k \operatorname{tg}^2 \beta}{2r \cos \beta}$$

T_t —это сила, воспринимаемая единицей длины поперечного сечения каркаса. Полная сила, воспринимаемая частью каркаса под беговой дорожкой, составит:

$$T = \int_b T_t ds$$

где интеграл берется по ширине беговой дорожки.

Так как по беговой дорожке величины r и β меняются мало, можно заменить T_t его значением на экваторе ($r=R$, $\beta=\beta_k$):

$$T_{tk} = \frac{\rho (R^2 - r_0^2)}{2R} \operatorname{tg}^2 \beta_k$$

а величину силы T вычислить как

$$T = T_{tk} b = \frac{\rho (R^2 - r_0^2)}{2R} \operatorname{tg}^2 \beta_k b$$

Масса единицы длины беговой дорожки в свою очередь может быть вычислена по формуле

$$\mu = q_{\text{ср.}} b$$

где $q_{\text{ср.}}$ —средняя масса, приходящаяся на 1 см^2 поверхности беговой дорожки. Тогда критическая скорость составит*:

$$v_{\text{кр.}} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{\rho (R^2 - r_0^2)}{2R q_{\text{ср.}}} \operatorname{tg}^2 \beta_k} \quad (76)$$

Приближенная формула (76) показывает, что критическая скорость прямо пропорциональна корню квадратному из отношения внутреннего давления в шине к удельной массе беговой дорожки, пропорциональна тангенсу угла нитей корда по экватору и корню квадратному из линейного размера шины.

В формуле (76) предположено, что упругость шины обусловлена только наличием в ней внутреннего давления, и не учтена жесткость резины. Поэтому формула достаточно точна лишь для шин с высоким внутренним давлением. Для шин низкого давле-

* Интересно отметить, что полученная формула в частном случае малой кривизны шины (r_0 мало отличается от R) и отсутствия закрепления на ободе совпадает с точной формулой, определяющей скорость распространения волны по прямому резинокордному рукаву²⁹.

ния необходимо учитывать жесткость резины и жесткость стенки при изгибе. Методы приближенного учета этих факторов подробно рассмотрены в работах^{29, 30}.

Окончательная расчетная формула может быть представлена в виде

$$v_{кр.} = \sqrt{\frac{\rho(R^2 - r_0^2)}{2Rq_{ср.}} (\operatorname{tg}^2 \beta_k + 2\sqrt{ac})} \quad (77)$$

где

$$a = 2 \operatorname{tg}^2 \beta_k + \frac{4Gh_{пр.}}{\rho^2} (1 + \operatorname{tg}^4 \beta_k - \operatorname{tg}^2 \beta_k)$$

$$c = \frac{A}{\rho^3} \operatorname{ctg}^4 \beta_k$$

$$\rho = \frac{R^2 - r_0^2}{2R}$$

G —динамический модуль сдвига резины, $h_{пр.}$ —приведенная толщина стенки шины, определяемая в зависимости от действительной толщины стенки* по экватору h , количества кордных слоев n и калибра корда d по формуле (19)

$$h_{пр.} = h + nd(K - 1)$$

где K находится по графику рис. 51 или формуле (17). Величина A характеризует жесткость стенки при изгибе. Если стенка включает n кордных слоев, то, предположив, что нейтральная ось при изгибе проходит посередине кордных слоев, найдем:

$$A = E_k \Sigma i y^2 \sin^4 \beta + \frac{4}{3} G (h_1^3 + h_2^3)$$

где i —частота нитей корда, E_k —динамический модуль упругости нити (*кгс/нить*), $\Sigma i y^2$ —сумма произведений частот нитей на квадраты расстояний всех кордных слоев от нейтрального слоя, h_1 и h_2 —расстояния нейтрального слоя от наружной и внутренней поверхностей стенки.

Рассмотрим пример расчета по приведенным формулам критической скорости гоночной шины 6,00—16 при внутреннем давлении 2,5 *кгс/см²*.

Равновесная конфигурация этой шины характеризуется радиусом экватора по первому слою каркаса $R=348$ мм и нулевым радиусом $r_0=280$ мм. Угол нитей корда по экватору $\beta_k=54^\circ$. Каркас шины имеет четыре слоя капронового корда с частотой нитей по экватору 12,9 *нитей/см*. Брекер—двухслойный с частотой 9,4 *нитей/см*. Толщина нитей корда $d=0,6$ мм. Статический модуль упругости нити, т. е. отношение приращения усилия в ней к приращению деформации около начального статического усилия $N=1$ *кгс* составляет $E_k^{ст.} = 60$ *кгс/нить*. Динамический модуль оцениваем как

$$E_k = 1,25 E_k^{ст.} = 75 \text{ кгс/нить}$$

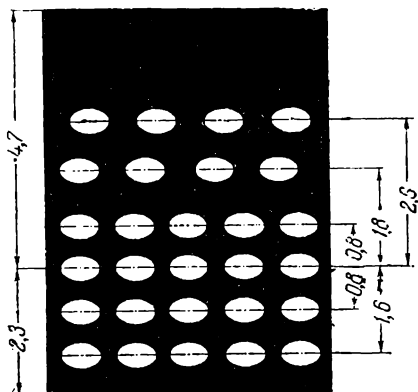
* Толщина h берется без учета выступов рисунка протектора.

Статический модуль сдвига для резины $G^{\text{ст}}=20 \text{ кгс/см}^2$. Динамический модуль принимаем $G=1,25 G^{\text{ст}}=25 \text{ кгс/см}^2$. Массу единицы площади беговой дорожки шины находим, исходя из средней толщины беговой дорожки—10 мм и удельного веса материала $\gamma=1,15 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^3$:

$$q_{\text{ср.}} = \frac{1 \cdot 1,15 \cdot 10^{-3}}{981} = 1,17 \cdot 10^{-6} \text{ кгс} \cdot \text{сек}^2 / \text{см}^3$$

Находим приведенную толщину стенки шины:

$$\begin{aligned} h_{\text{пр.}} &= h + n_1 d (K_1 - 1) + n_2 d (K_2 - 1) = \\ &= 0,7 + 4 \cdot 0,06 (2,9 - 1) + 2 \cdot 0,06 (1,8 - 1) = 1,26 \text{ см} \end{aligned}$$



где $h=0,7 \text{ см}$ —фактическая средняя толщина стенки по беговой дорожке (без учета выступов рисунка протектора); $n_2=4$ —общее число основных кордных слоев, $n=2$ —число слоев брекера; $d=0,06 \text{ см}$ —толщина нити корда, $K_1=2,9$ —коэффициент, определяемый по графику рис. 51 (см. стр. 60), в зависимости от отношения толщины нити к шагу нитей в основных слоях

$$\frac{d}{t} = di = 0,06 \cdot 12,9 = 0,77$$

$K_2=1,8$ —то же для слоев брекера ($\frac{d}{t}=0,06 \cdot 9,4=0,56$). Предполагая, что

нейтральная ось проходит на уровне

третьего слоя каркаса, находим расстояния кордных слоев от нее (рис. 134):

$$\begin{aligned} y_1 &= 0,16 \text{ см} & y_2 &= 0,08 \text{ см} & y_3 &= 0 \\ |y_4| &= 0,08 \text{ см} & |y_5| &= 0,18 \text{ см} & |y_6| &= 0,26 \text{ см} \end{aligned}$$

где расстояния y_5 и y_6 относятся к брекеру.

Определяем величину $\Sigma i y^2$:

$$\Sigma i y^2 = 12,9 (0,16^2 + 0,08^2 + 0,08^2) + 9,4 (0,18^2 + 0,26^2) = 1,43$$

Подсчитываем величину A :

$$\begin{aligned} A &= E_k \Sigma i y^2 \sin^4 \beta + \frac{4}{3} G (h_1^3 + h_2^3) = 75 \cdot 1,43 \sin^4 54^\circ + \\ &+ \frac{4}{3} \cdot 25 (0,23^3 + 0,47^3) = 55 \text{ кгс} \cdot \text{см} \end{aligned}$$

Находим величины ρ , a и c :

$$\rho = \frac{R^2 - r_0^2}{2R} = \frac{34,8^2 - 28,0^2}{2 \cdot 34,8} = 6,1 \text{ см}$$

$$a = 2 \operatorname{tg}^2 \beta_k + \frac{4Gh_{\text{нп}}}{\rho^2} (1 + \operatorname{tg}^4 \beta_k - \operatorname{tg}^2 \beta_k) = 2 \operatorname{tg}^2 54^\circ + \\ + \frac{4 \cdot 25 \cdot 1,26}{2,5 \cdot 6,1} (1 + \operatorname{tg}^4 54^\circ - \operatorname{tg}^2 54^\circ) = 25,8$$

$$c = \frac{A}{\rho^3} \operatorname{ctg}^4 \beta_k = \frac{55}{2,5 \cdot 6,1^3} \operatorname{ctg}^4 54^\circ = 0,0267$$

По формуле (77) находим критическую скорость

$$v_{\text{кр.}} = \sqrt{\frac{2,5(34,8^2 - 28,0^2)}{2 \cdot 34,8 \cdot 1,17^{-8}} (\operatorname{tg}^2 54^\circ + 2 \sqrt{25,8 \cdot 0,0267})} = \\ = 6,82 \cdot 10^3 \text{ см/сек} = 245 \text{ км/ч}$$

Расчет по более простой формуле (76) дал бы в этом случае значение критической скорости почти на 30% меньше ($v_{\text{кр}}^* = 178 \text{ км/ч}$).

По экспериментальным данным, для рассмотренной шины критическая скорость составляет около 270 км/ч. Таким образом, расчет по формуле (77) дал занижение критической скорости примерно на 10%.

Полученные формулы позволяют исследовать зависимость критической скорости качения шины от удельной массы беговой дорожки, внутреннего давления угла нитей корда, жесткости резины.

Соответствующие расчетные графики для шины 7,50—16 приведены на рис. 135. Из этих графиков видно, что для повышения критической скорости, наряду с повышением внутреннего давления и снижением массы шины целесообразно увеличивать угол нитей корда и повышать жесткость резины. Увеличение ширины обода также приводит к повышению критической скорости, так как при этом уменьшается радиус r_0 и увеличивается величина

$$\rho = \frac{R^2 - r_0^2}{2R}.$$

Следует отметить, что проведение указанных мероприятий для повышения критической скорости связано с необходимостью применения высокопрочных материалов. Действительно, повышение внутреннего давления, увеличение угла нитей корда и увеличение ширины обода приводят к увеличению усилий в нитях корда. Чтобы не увеличивать слоистость шины и, следовательно, ее массу, необходимо применять корд повышенной прочности. Уменьшение массы шины путем снижения калибра протектора требует применения резин, обладающих высокой износостойкостью.

Поскольку влияние динамических процессов на работу шины начинает сказываться при скорости существенно меньшей, чем

критическая, допустимая эксплуатационная скорость должна определяться как

$$v_{\max} = \eta v_{\text{кр.}}$$

где η —коэффициент, меньший единицы.

Значение коэффициента η должно назначаться в зависимости от нагруженности шины и требуемого ее километража при ско-

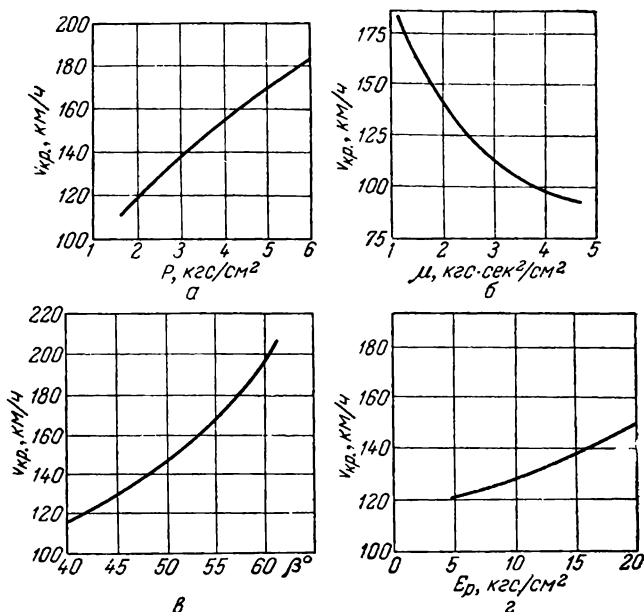


Рис. 135. Зависимость критической скорости:
 а—от внутреннего давления; б—от массы беговой дорожки; в—от угла нити корда; г—от модуля упругости резины.

рости v_{\max} . В настоящее время еще трудно указать конкретные цифровые значения коэффициента η .

РЕЖИМЫ ДЕФОРМАЦИИ ШИННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Конструктор-машиностроитель, проектируя деталь, выбирает для ее изготовления ту или иную марку стали в зависимости от величины испытываемых деталью напряжений и деформаций.

При этом замена одной марки стали другой не влечет за собой изменения напряжений или упругих деформаций детали, а изменяет лишь ее прочность. Это связано с тем, что стали всех марок имеют практически одинаковый модуль упругости $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$.

Конструктор-шинник находится в более благоприятном и вместе с тем в более сложном положении. Заменяя одни марки резины или корда другими, отличающимися по прочности, он

имеет возможность и вынужден изменять не только прочность материала, но и условия его работы, т. е. величину возникающих напряжений и деформаций, величину гистерезисных потерь, а следовательно, и температурные условия.

Различают следующие основные режимы работы материала—режим заданных напряжений, режим заданных деформаций и режим заданной работы деформации.

При режиме заданных напряжений величина испытываемых материалом напряжений остается постоянной независимо от его жесткости и соответственно величина деформации меняется обратно пропорционально модулю упругости материала. В качестве примера режима заданных напряжений можно рассмотреть, в

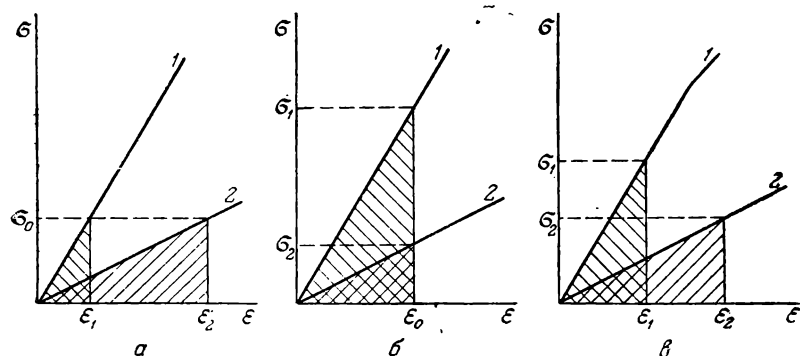


Рис. 136. Графическое изображение различных режимов работы материала: а—режим заданных напряжений; б—режим заданных деформаций; в—режим заданной работы деформации. 1—материал с высоким модулем упругости; 2—материал с низким модулем упругости.

частности, сжатие элементов рисунка протектора в площади контакта шины с дорогой. Величина напряжения сжатия равна в этом случае контактному давлению и практически не зависит от свойств материала. При этом, чем меньше модуль упругости материала, тем больше испытываемая им деформация. Графическое изображение режима заданных напряжений представлено на рис. 136, а. Напряжение σ_0 задано. Материал, характеристика которого изображена лучом 1, испытывает деформацию $\epsilon_1 = \frac{\sigma_0}{E_1}$, а более мягкий материал с модулем упругости E_2 испытывает большую деформацию $\epsilon_2 = \frac{\sigma_0}{E_2}$.

Работа деформации, изображаемая протрихованными на рис. 136, а площадями и равная соответственно $A_1 = \frac{\sigma_0^2}{2E_1}$ и $A_2 = \frac{\sigma_0^2}{2E_2}$, изменяется в этом случае также обратно пропорционально модулю упругости.

Таким образом, при режиме заданных напряжений, жесткий материал оказывается, вообще говоря, в более выгодных условиях, чем податливый.

Режим заданных деформаций отличается тем, что величина деформации не зависит от свойств материала, а возникающее напряжение прямо пропорционально его модулю упругости. Как видно из рис. 136, б, работа деформации, равная $A = \frac{E\epsilon_0^2}{2}$, также прямо пропорциональна модулю упругости.

При режиме заданных деформаций в более выгодных условиях находится материал с меньшим модулем упругости.

Режим заданных деформаций реализуется, например, при испытании образцов на машине МРС-2, когда задано перемещение подвижного зажима машины, а возникающие в образце напряжения зависят от его свойств.

Режим заданной работы деформации является промежуточным между режимами заданных напряжений и заданных деформаций. При этом режиме, независимо от упругих свойств материала, остается постоянной работа деформации, а напряжения и деформации изменяются так, что $\frac{\sigma\epsilon}{2} = A = \text{const}$. Отсюда следует,

что при режиме заданной работы деформации напряжение прямо пропорционально корню квадратному из модуля упругости материала, а деформация обратно пропорциональна тому же корню.

На рис. 136, в сопоставлены напряжения и деформации для двух материалов разной жесткости при заданной работе деформации. Возможны, и весьма часто встречаются режимы, промежуточные между этими тремя основными.

Из сказанного выше ясна большая важность знания режима работы материала в той или иной детали шины. Только зная характер этого режима, можно обоснованно подойти к выбору материала, обладающего оптимальными свойствами. Только зная режим работы материала в эксплуатации, можно правильно установить комплекс физико-механических испытаний, отражающих эксплуатационное качество материала.

В противном случае всегда возможны ошибки, так как при различии эксплуатационного режима и режима лабораторных испытаний резина, показавшая наилучшие результаты в лаборатории, может оказаться худшей в изделии.

К сожалению, конструкция и условия эксплуатации пневматической шины настолько сложны, что режимы работы материала в различных ее деталях трудно однозначно отнести к тому или иному типу. Однако проведенные исследования позволяют все же в большинстве случаев установить тип доминирующего режима.

Выше уже указывалось, что элементы (выступы) рисунка протектора испытывают заданные нагрузки при проходе через площадь контакта. Для подканавочного слоя режим работы оказы-

ваются уже более сложным. Подканавочный слой передает заданную нагрузку от выступов протектора на каркас и вместе с тем участвует в общей деформации каркаса. Эта последняя практически не зависит от упругих свойств подканавочного слоя—она является заданной. Какой из этих двух режимов имеет главное значение? Видимо, ответ на этот вопрос должен быть различным для шин разных типов. Так, в шинах высокого давления нагрузка, передаваемая с выступов протектора, велика, как велико и контактное давление, а деформации каркаса относительно малы. В шинах низкого давления (шины с регулируемым давлением, легковые шины) контактные давления существенно меньше, а деформации каркаса—больше. Поэтому можно считать, что в грузовых шинах доминирующим для подканавочного слоя протектора является режим заданных напряжений; для шин сверхнизкого давления и легковых режим ближе к режиму заданных деформаций.

Резина, заполняющая пространство между нитями в каждом слое корда, испытывает деформации в связи с искажением элементарных ромбиков, составленных кордными нитями. Эти деформации не зависят от жесткости резины и потому являются заданными.

Наиболее сложен вопрос о режиме деформаций междуслойной и брекерной резины.

Междуслойная резина деформируется одновременно со слоями в своей плоскости, а также испытывает деформации сдвига, связанные с взаимными перемещениями соседних слоев; именно эти последние деформации имеют основное значение. Вопрос о зависимости амплитуды деформаций сдвига в междуслойной резине от ее свойств в общем виде был рассмотрен выше (см. стр. 65). Формула (39), полученная там при числе слоев корда $n > 4$, может быть представлена в виде

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 + 2,5 \frac{Gl^2}{E_k nih(h - nd)}} \quad (78)$$

где $\gamma_0 = \frac{A\pi}{l} \sin \frac{\pi s}{l}$ —величина, полностью определяемая формой изогнутой поверхности и не зависящая от свойств резины; G —модуль сдвига резины; E_k —модуль нити корда, n —число слоев; i —частота нитей; h —толщина каркаса; l —размер зоны, в которой изменение кривизны стенки имеет одинаковый знак (l измеряется вдоль нити корда); d —калибр нитей.

Формула (78) показывает, что в зависимости от соотношений между жесткостью резины и жесткостью корда и между длиной зоны деформации и толщиной стенки режим деформации резины может быть различным от режима заданных деформаций до режима заданных напряжений.

Так, если корд является очень жестким (металлокорд) и E_k велико, то второй член в знаменателе формулы (78) мал в сравнении с единицей и $\gamma \approx \gamma_0$, т. е. не зависит от модуля сдвига резины G . В этом случае режим деформации межслойной резины близок к режиму заданной деформации. Наоборот, если второй член в знаменателе формулы (78) велик в сравнении с единицей (например, для малослойных шин из текстильного корда), режим близок к режиму заданных напряжений.

Можно также установить, что если второй член в знаменателе равен единице, то при небольших изменениях модуля сдвига резины G сдвиг γ меняется так, что работа деформации $\frac{G\gamma^2}{2}$ сохраняет почти постоянное значение. В этом случае режим близок к режиму заданной работы деформации. Как мы видели выше (см. стр. 70), для восьмислойной грузовой шины при длине $l=10$ см второй член в знаменателе формулы (78) равен 0,85, т. е. близок к единице. Отсюда можно сделать вывод, что режим деформации межслойной резины этой шины близок к режиму заданной работы деформации.

Межслойная резина в зоне брекера, кроме сдвигов, связанных с изгибом стенки шины, воспринимает также заданные нагрузки, связанные с передачей контактного давления. Поэтому характерный для этой резины режим ближе к режиму заданной нагрузки.

Для грузовых шин больших размеров, имеющих 12 и более слоев корда при изгибе с той же длиной полуволны $l=10$ см, режим деформации межслойной резины будет ближе к режиму заданной деформации, поскольку в этом случае величина $\frac{2,5Gl^2}{E_k n i h (h - nd)}$ будет существенно меньше единицы. Наоборот, для малослойных шин, например легковых, режим деформации межслойной резины ближе к режиму заданных усилий.

Из сказанного можно сделать ряд практических выводов. Так, в частности, можно установить, что для многослойных шин, эксплуатируемых на неровных дорогах, предпочтительны низко-модульные резины в каркасе.

Нельзя, однако, утверждать, что для малослойных шин имеют преимущество высоко-модульные резины. Хотя при применении этих резин деформации сдвига несколько снижаются, но в тонкостенных шинах эти деформации вообще малы и не определяют прочности конструкции.

Целесообразно применение низко-модульной брекерной резины (особенно надбрекера), так как такая резина будет испытывать значительные деформации в связи с передачей контактного давления.

В четырехслойных шинах из металлокорда межслойная резина работает в режиме заданных деформаций; здесь целесообразно применение низко-модульных резин. Этот вывод не относится к

двухслойным шинам из металлокорда, так как в этом случае отсутствуют слои с параллельными нитями и деформации сдвига между слоями незначительны.

Большой интерес представляет вопрос о режиме деформации нитей корда.

Следует иметь в виду, что деформации нитей корда складываются из деформаций двух типов: мембранных деформаций, которые для всех слоев одинаковы, и деформаций изгиба, имеющих противоположные знаки во внутреннем и наружном слоях.

Усилия, возникающие в нитях корда при мембранных деформациях, складываются из начальных усилий при накачивании шины и дополнительных—при ее качении. В первом приближении мембранные усилия не зависят от упругих свойств корда. Для данной шины их величина увеличивается с ростом внутреннего давления (при постоянном прогибе) и с ростом прогиба (при постоянном внутреннем давлении).

Деформации изгиба, как было показано ранее (стр. 68), зависят от упругих свойств корда.

Формула (40), определяющая удлинение нити корда при изгибе, может быть представлена в виде

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0}{1 + \frac{E_k nih (h - nd)}{2,5Gl^3}} \quad (79)$$

где все обозначения такие же, как в формуле (78), $\varepsilon_0 = \frac{\chi h}{2}$, где h —толщина каркаса, χ —изменение его кривизны при изгибе.

Из формулы (79) видно, что увеличение модуля упругости корда приводит к уменьшению деформаций нити при изгибе. Вместе с тем соответствующее усилие в нити, равное

$$N' = E_k \varepsilon = \frac{\varepsilon_0}{\frac{1}{E_k} + \frac{nih (h - nd)}{2,5Gl^3}}$$

с ростом модуля возрастает.

Таким образом, режим работы нитей при изгибе стенки является промежуточным между режимами заданных деформаций и заданных напряжений. Чем больше второе слагаемое в знаменателе формулы (79), т. е. чем жестче корд и мягче резина, тем этот режим ближе к режиму заданных усилий.

Поскольку в шине корд испытывает одновременно мембранные и изгибные деформации, действительный режим работы корда зависит от соотношения величин этих деформаций. Очевидно, что роль изгиба тем больше, чем толще стенка шины и чем больше изменяется ее кривизна при деформации.

В связи с этим большой интерес представляют результаты экспериментального исследования зависимости деформаций ни-

тей корда от их жесткости. В НИИ шинной промышленности было проведено исследование* деформаций нитей корда шин 260—20, изготовленных на кордах из капронового волокна и волокна мериль. Оба эти корда имели близкие диаметры нити, одинаковую разрывную прочность (14,3 кгс/нить), но резко различные удлинения при разрыве (корд мериль—9%, корд капрон—25%). Плотность обоих кордов была одинаковой.

Как видно из приведенных на рис. 137 характеристик растяжения нитей, корд мериль примерно в 2 раза жестче корда капрон.

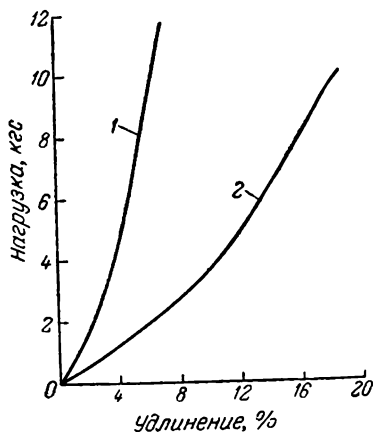


Рис. 137. Диаграммы растяжения корда из шин:
1—корд мериль; 2—корд капрон.

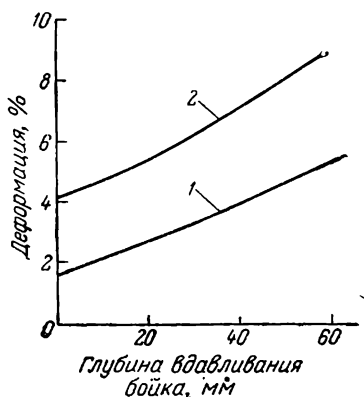


Рис. 138. Зависимость удлинения нити корда от глубины вдавливания бойка:
1—корд мериль; 2—корд капрон.

Исследование деформаций проводилось при внедрении в шину конического бойка с радиусом закругления вершины 20 мм. В этих условиях большую роль играли деформации изгиба.

На рис. 138 приведены полученные экспериментально зависимости удлинения нити корда внутреннего слоя шины от глубины вдавливание бойка. Из графика видно, что как начальные деформации, обусловленные внутренним давлением, так и дополнительные деформации при вдавливании бойка для более податливого корда капрон больше, чем для корда мериль. По характеристике растяжения кордов можно установить усилия в нитях при той или иной глубине вдавливания бойка. Соответствующий график представлен на рис. 139. Сопоставляя графики рис. 138 и 139, можно установить, что начальные усилия в нитях корда не зависят от их жесткости, а дополнительные усилия при вдавливании бойка возрастают с увеличением жесткости, тогда как соответствующие деформации уменьшаются.

* Работа проведена инженером В. А. Пугиним.

Поскольку разрывная прочность обоих кордов одинакова, в данном случае в менее выгодных условиях оказывается жесткий корд мериль.

Действительно, эксперимент показал, что шины из этого корда разрушаются при вдавливании бойка на глубину 136 мм, тогда как шины из капрона разрушаются при глубине внедрения 163 мм (при внутреннем давлении 6 кгс/см²).

Таким образом, дополнительные деформации в данном случае соответствуют режиму, промежуточному между режимом заданных напряжений и заданных деформаций, близко к режиму заданной работы деформации. Это справедливо для многослойных шин. Очевидно, что в малослойных шинах, где роль изгиба невелика, режим деформации корда ближе к режиму заданных напряжений.

При решении вопроса о выборе оптимальной жесткости резины или корда, кроме режима их деформации, необходимо прежде всего учитывать статическую и усталостную проч-

ность материала. Следует также иметь в виду, что изменение жесткости того или иного элемента шины приводит к изменению напряжений и деформаций не только в нем самом, но и в других элементах. Так, например, увеличение жесткости межслойной резины приводит к росту напряжений в нитях корда, а увеличение жесткости нитей корда—к росту напряжений в резине.

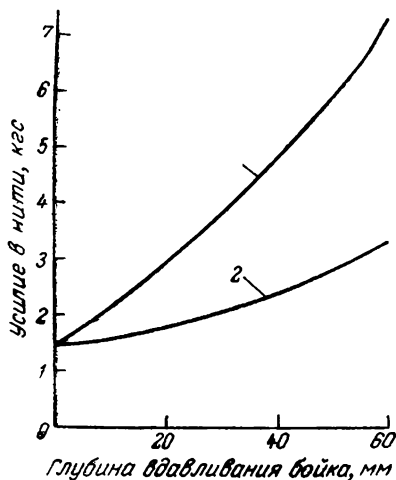


Рис. 139. Зависимость усилий в нитях корда от глубины вдавливания бойка: 1—корд мериль; 2—корд капрон.

СООТНОШЕНИЯ ПОДОБИЯ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ШИНЫ

В настоящее время еще не созданы условия для того, чтобы можно было выбирать основные размеры шин для данных режимов эксплуатации на основе расчета на прочность, исходя из требуемой долговечности шин и характеристик используемых материалов.

Еще недостаточно изучены зависимости напряжений и деформаций в элементах шины от ее конструкции и условий эксплуатации. Отсутствуют также достаточно полные сведения об усталостной прочности шинных материалов.

Поэтому при выборе основных размеров шин приходится основываться в большинстве случаев на опытных данных. Одним из методов использования опытных данных является применение различного рода нормативов (ГОСТ, нормы, принятые в разных странах).

Однако указанные материалы содержат нормы нагрузок и внутренних давлений только для стандартных шин, а экстраполяция нормативных зависимостей не всегда допустима. Кроме того, с улучшением свойств материалов, внедрением новых типов корда и новых каучуков, изменением требований к долговечности шин нормативы периодически пересматриваются. Поэтому для конструктора шин крайне существенно владеть методами расчета норм нагрузок и давлений для шин.

В инженерной практике используется ряд приближенных формул для подсчета норм нагрузок на шины. Так, например, формулы Хэлла, приводимые в иностранной литературе³, имеют следующий вид:

для легковых шин

$$Q = 0,113p^{0,585}B_1^{1,39}(a + B_1)$$

для грузовых шин

$$Q = 0,099p^{0,585}B_1^{1,39}(d + B_1)$$

В этих формулах Q (кгс)—допускаемая нагрузка p кгс/см²—внутреннее давление, d (см)—номинальный диаметр обода, B (см)—условная ширина профиля шины, которая находится в зависимости от действительной ширины профиля B и ширины обода C по формуле

$$B_1 = 1,4B - 0,645C$$

Формулы Хэлла являются чисто эмпирическими и имеют ряд существенных недостатков. В этих формулах принимается, что действительная ширина обода, на котором смонтирована шина, не влияет на ее грузоподъемность. Создается также впечатление, что, повышая внутреннее давление, можно неограниченно увеличивать грузоподъемность шин. Это совершенно не соответствует действительности; известно, что повышение внутреннего давления не может компенсировать перегрузку шины. Поэтому формулы Хэлла нельзя рекомендовать для практического применения.

В ряде работ предлагается рассчитывать нагрузку на шину, исходя из определенного отношения нагрузки к внутреннему объему шины, определяемому вычислением или даже экспериментально путем заполнения шины водой. Этот способ также не является обоснованным, так как изменение внутреннего объема

шины, например за счет изменения конструкции обода, никак не связано с изменением ее грузоподъемности.

Метод расчета норм нагрузки и внутреннего давления для пневматических шин, основанный на методах теории подобия, рассмотрен в работе³¹.

Анализ размерностей показывает, что режим работы материалов в шине в основном определяется следующими безразмерными параметрами:

$$\frac{H}{B}, \frac{D}{B}, \frac{C}{B}, \frac{h}{B}, \beta_k, \frac{niE_k}{Gh}, \frac{p}{G}, \frac{Q}{GB^2}, \frac{f}{B}$$

Первые пять параметров $\left(\frac{H}{B}, \frac{D}{B}, \frac{C}{B}, \frac{h}{B}, \beta_k\right)$ характеризуют геометрию шины (см. рис. 140) и угол нитей корда в ней; параметр

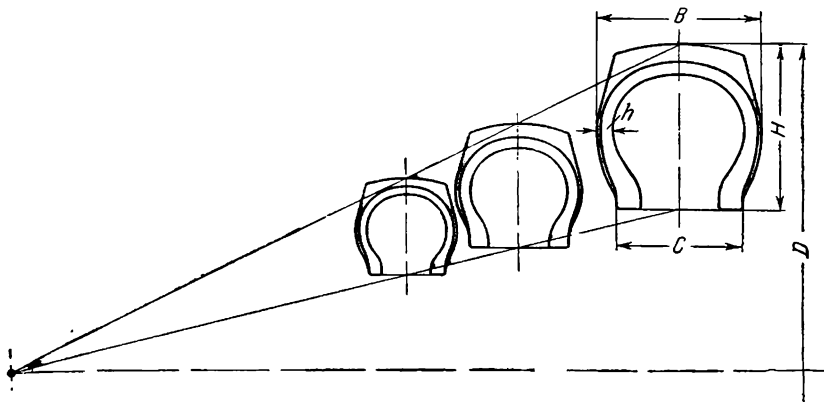


Рис. 140. Ряд геометрически подобных шин.

$\frac{niE_k}{Gh}$ определяет отношение жесткости кордных слоев к жесткости резины. Наконец, параметры $\frac{p}{G}$, $\frac{f}{B}$ и $\frac{Q}{GB^2}$ определяют отношение внутреннего давления к модулю упругости резины, отношение прогиба шины к ширине профиля и отношение радиальной нагрузки к произведению модуля упругости резины на квадрат ширины профиля.

Разумеется, не все указанные параметры являются независимыми. Так, для шины с заданными размерами и из определенных материалов нагрузка, внутреннее давление и прогиб взаимосвязаны. Поэтому можно написать, например:

$$\frac{Q}{GB^2} = \varphi \left(\frac{f}{B}, \frac{p}{G}, \frac{H}{B}, \frac{D}{B}, \frac{C}{B}, \frac{h}{B}, \beta_k, \frac{niE_k}{Gh} \right) \quad (80)$$

Точный вид зависимости (80) еще не может быть указан, однако, используя приближенную формулу (69)

$$Q = \frac{f^2}{C_1 + C_2 \frac{f}{p + p_0}}$$

эту зависимость можно представить в форме

$$\frac{Q}{GB^2} = \frac{\left(\frac{f}{B}\right)^2}{C_1 G + BC_2 \frac{f/B}{p/G + p_0/G}} \quad (81)$$

где параметр $\frac{Q}{GB^2}$ в явной форме выражен через параметры $\frac{f}{B}$ и $\frac{p}{G}$, а влияние других безразмерных параметров отражается на величинах $C_1 G$, BC_2 , $\frac{p_0}{G}$.

Рассмотрим ряд геометрически подобных шин, изготовленных из одинаковых материалов (рис. 140). Для этих шин все соотношения геометрических размеров, а также β_k и отношение $\frac{n_i E_k}{Gh}$ одинаковы. Одинаков и модуль сдвига резины G .

Отсюда следует, что для геометрически подобных шин одинаковые режимы деформации реализуются при одинаковых внутренних давлениях, одинаковых относительных прогибах и при нагрузке, прямо пропорциональной квадрату ширины профиля.

Таким образом, во всех подобных шинах должно быть одинаковое внутреннее давление $p = \text{const}$, а нагрузка на шины должна определяться по формуле

$$Q = kB^2 \quad (82)$$

где k —постоянный для данной серии шин коэффициент, обычно называемый коэффициентом грузоподъемности.

Вывод, сделанный здесь на основе анализа размерностей, можно получить и другим способом³¹. Так, из формулы (53) можно найти, что одинаковые усилия в нитях корда подобных шин возникают при одинаковой величине внутреннего давления, а формула (69) показывает, что в этом случае постоянная величина относительного прогиба имеет место при нагрузке, определяемой формулой (82).

Анализ конструкций стандартных шин для грузовых автомобилей показывает, что формы профиля этих шин в основном удовлетворяют условиям подобия. Отношения $\frac{H}{B}$, $\frac{B}{C}$, $\frac{h}{B}$ изменяются в сравнительно узких пределах, и лишь величина $\frac{D}{B}$ закономерно уменьшается с увеличением размеров шины, поскольку стандарт-

ные шины независимо от ширины профиля рассчитаны на 20-д Ω ймовый обод.

Таким образом, шины стандартной конструкции с одинаковой геометрией профиля, углом корда по экватору и изготовленные из одинаковых материалов не являются подобными в связи с различным для шин разных размеров отношением $\frac{D}{B}$.

Очевидно, что в шинах, не удовлетворяющих условиям геометрического подобия совершенно одинаковые условия деформации

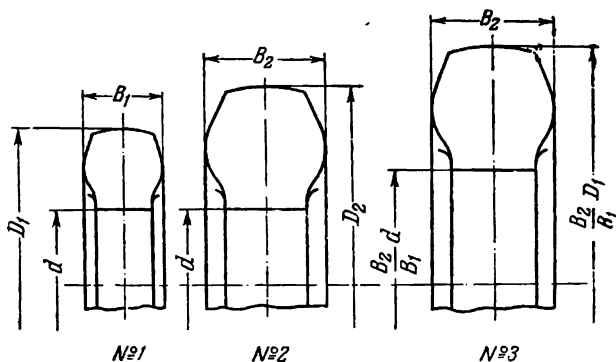


Рис. 141. К определению норм нагрузки и давления для шин с различной шириной профиля, но с одинаковым диаметром обода.

ции, строго говоря, не могут быть достигнуты, однако приближение к ним возможно.

Рассмотрим, как должны для этого изменяться внутреннее давление и нагрузка в шинах разных размеров, монтируемых на обод одного диаметра.

Пусть внутреннее давление p_1 и нагрузка Q_1 , обеспечивающие нормальную работу шины № 1 с шириной профиля B_1 (рис. 141), известны и требуется определить нагрузку и давление для шины № 2 с шириной профиля B_2 . Предварительно определим нагрузку Q_3 и давление p_3 для шины № 3, подобной шине № 1 и имеющей ширину профиля B_2 .

В соответствии с условиями подобия при давлении $p_3 = p_1$ и нагрузке $Q_3 = Q_1 \frac{B_2^2}{B_1^2}$ условия работы шины № 3 будут такими же, как и шины № 1. Очевидно, что если и на шину № 2 допустить нагрузку Q_3 при давлении p_3 , то эта шина будет в худших условиях, чем шина № 3 (№ 1), так как ее размеры меньше. Можно полагать, что условия работы материала шины № 2 при качении будут близкими к условиям работы материала в шинах № 1 и 3 в

том случае, если относительные прогибы $\frac{f}{B}$ для всех шин будут одинаковыми. Для этого необходимо или снизить нагрузку на шину № 2 в сравнении с шиной № 3, или соответственно повысить внутреннее давление.

В принятых нормативах (ГОСТ, американские нормы TRA) для грузовых шин различных размеров с одинаковым диаметром обода принято постоянное отношение $\frac{Q}{B^2}$, причем для шин больших размеров принимается большее значение внутреннего давления, так что все шины имеют одинаковый относительный прогиб.

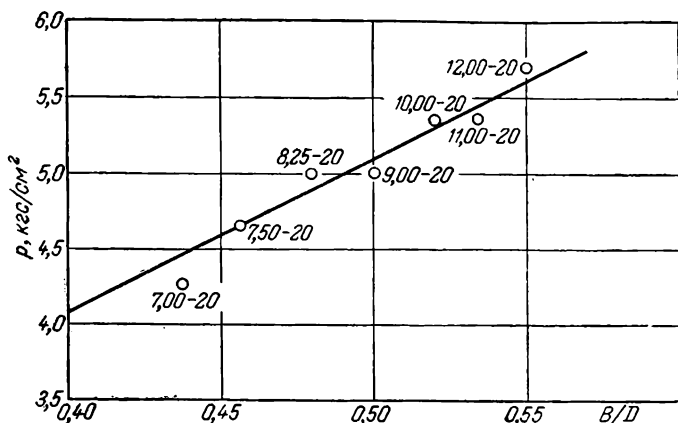


Рис. 142. Зависимость нормального внутреннего давления в грузовых шинах, монтируемых на обода диаметром 20'' от отношения $\frac{B}{D}$ (точки—по нормам TRA, линия по уравнению $p=10,2 \frac{B}{D}$).

Естественно, что при этом шины больших размеров оказываются несколько более тяжело нагруженными вследствие большего усилия в нитях корда и большего удельного давления в площади контакта. Поэтому для изготовления шин больших размеров используются, как правило, материалы лучшего качества.

Для определения необходимого внутреннего давления в шине можно использовать формулу (69), в которую следует подставить принятое значение $\frac{Q}{B^2}$, $\frac{f}{B}$, а также характерные для данного типа шин величины p_0 , C_1 и $C_2 = \frac{1 \div 1,4}{\sqrt{RD}}$. Как показывает расчет³¹, давление в этом случае должно изменяться прямо пропорционально отношению $\frac{B}{D}$ для шины. На рис. 142 приведена зависимость внутреннего давления, рекомендуемого для грузовых шин нор-

мами TRA, от отношения $\frac{B}{D}$. Как видно из графика, действительная зависимость близка к линейной.

Для легковых шин нормальное внутреннее давление определяется главным образом условиями комфортабельности автомобиля и принимается, как правило, одинаковым для шин данного типа, монтируемых на обод одного диаметра. В связи с этим для получения одинакового относительного прогиба $\frac{f}{B}$ для шин большего размера несколько снижается отношение $\frac{Q}{B^2}$. И в этом случае для расчетов может быть использована формула (69).

ДЕФОРМАЦИИ КАМЕРЫ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИНАХ

Для камерных шин воздушная камера является важной частью, существенно влияющей на надежность и долговечность шины в целом. Разрыв камеры во время эксплуатации часто приводит к повреждению покрышки, а в некоторых случаях может вызвать аварию автомобиля.

Кроме проколов и других механических повреждений, наиболее частым видом разрушения камер в эксплуатации является разрыв их по бандажной части и перетирание вследствие образования складок; оба эти вида разрушения обусловлены напряженным состоянием камеры в покрышке.

Чрезмерные растягивающие напряжения в материале камеры приводят с течением времени к ее разрыву. Разрушение камеры под действием растягивающих напряжений ускоряется под влиянием нагрева обода от тормозного барабана и теплообразования при качении шины.

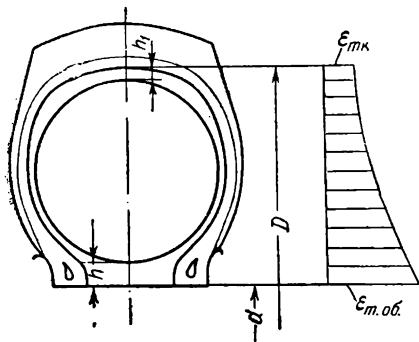
Наличие в камере напряжений сжатия при ее надувке в покрышке или в дальнейшем при эксплуатации шины приводит, вследствие малой толщины стенок камеры, к образованию складок.

Чтобы исключить появление указанных дефектов, следует при проектировании камеры учесть деформации и напряжения, возникающие в ней при накачке. Задача теоретического определения этих деформаций и напряжений решена в работе³². Приведем основные выводы этой работы.

1. Распределение меридиональных деформаций ε_m по контуру камеры имеет характер, представленный на рис. 143. Максимальные деформации возникают в зоне обода, минимальные — по экватору.

2. Неравномерность распределения меридиональных деформаций ε_m по контуру тем больше, чем больше отношение $\frac{D}{d}$ для шины.

3. Величина меридиональных деформаций ϵ_m мало зависит от формы профиля шины (например, от отношения $\frac{H}{B}$) и для обычных конфигураций легковых и грузовых шин определяется только величиной средней вытяжки ϵ_{m0} по контуру, величиной окружной деформации в зоне обода $\epsilon_{t об.} = -\frac{2h}{d}$ и отношением $\frac{D}{d}$. Средняя вытяжка по профилю находится по формуле



$$\epsilon_{m0} = \frac{S - S_0}{S_0}$$

где S —внутренний периметр профиля надутой покрышки;

S_0 —длина профиля недеформированной камеры.

Рис. 143. Положение ненадутой камеры в покрышке и распределение меридиональных деформаций по контуру камеры.

4. Значения меридиональной деформации камеры в зоне обода $\epsilon_{m об.}$ и по экватору $\epsilon_{mк}$ можно приближенно подсчитать по формулам:

$$\epsilon_{m об.} = \epsilon_{m0} + K_1 \left[(1 + \epsilon_{m0}) \left(\epsilon_{m0} + \frac{2h}{d} \right) \right]$$

$$\epsilon_{mк} = \epsilon_{m0} - K_2 (1 + \epsilon_{m0}) \left(\epsilon_{m0} + \frac{2h}{d} \right)$$

причем коэффициенты K_1 и K_2 определяются в зависимости от отношения $\frac{D}{d}$ по графикам рис. 144.

5. Окружные деформации в зоне обода и по экватору определяются по формулам:

$$\epsilon_{t об.} = -\frac{2h}{d}$$

$$\epsilon_{t к} = \frac{2h_1}{D}$$

6. Напряжения в окружном и меридиональном направлениях равны соответственно:

$$\sigma_t = 4G (\epsilon_t + 0,5\epsilon_m)$$

$$\sigma_m = 4G (\epsilon_m + 0,5\epsilon_t)$$

Во избежание образования складок эти напряжения как в зоне обода, так и по экватору должны быть положительными (растягивающими).

7. Увеличение толщины стенки камеры в зоне обода не приводит к уменьшению деформаций в этой зоне; при высоком внутреннем давлении деформации утолщенного участка камеры даже

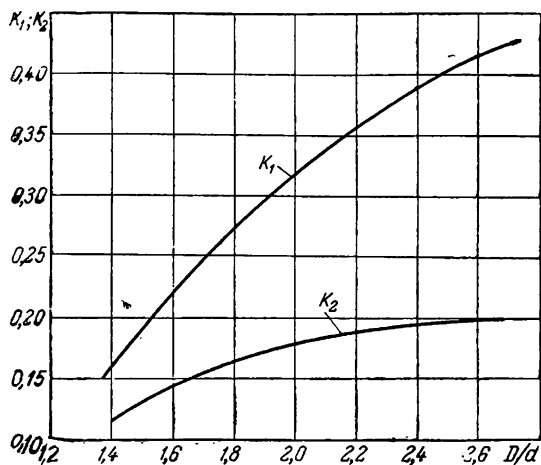


Рис. 144. Зависимость коэффициентов K_1 и K_2 от отношения $\frac{D}{d}$.

возрастают. При необходимости снижения деформаций камеры в зоне обода могут быть использованы усилительные кордные ленты.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ШИНЕ

Конструкция шины, ее основные размеры и материалы определяются в зависимости от тех технических требований, которым шина должна удовлетворять. Эти требования устанавливаются в связи с назначением, конструкцией и условиями работы автомобиля, для которого проектируется шина.

В первую очередь должны быть заданы грузоподъемность и требуемая долговечность шины, проходимость и скорость движения автомобиля. При конструировании шины учитываются также требования к ее радиальной и боковой жесткости, требования безопасности и бесшумности движения и ряд других.

Основной величиной, в зависимости от которой определяются размеры шины и величина внутреннего давления в ней, является грузоподъемность. Под грузоподъемностью шины понимается максимально допустимая статическая радиальная нагрузка, при которой шина имеет заданную долговечность в эксплуатации*.

При вычислении статической нагрузки на шину учитывается вес полностью заправленного автомобиля, водителя и груза, соответствующего номинальной грузоподъемности автомобиля. Динамические нагрузки на шину, возникающие при движении автомобиля, учитываются в расчете введением коэффициента запаса различного для различных типов шин. Шины, испытывающие особо высокие динамические нагрузки (например, шины для карьерных работ), выполняются более прочными, чем обычные.

Величина внутреннего давления в шинах легковых автомобилей ограничивается требованием высокой радиальной податливости шины, обеспечивающей комфортабельность автомобиля. В этом случае габариты шины определяются ее грузоподъемностью и величиной максимально допустимого внутреннего давления.

При определении габаритных размеров шины должны учитываться также требования, связанные с общей компоновкой автомо-

* В настоящее время реальным является достижение долговечности для грузовых шин 100 тыс. км, для легковых шин 50 тыс. км. По мере усовершенствования шинных материалов и улучшения качества шин эти цифры будут увеличиваться.

бля. На основе этих требований устанавливается диаметр обода и ограничиваются наружный диаметр и ширина профиля шины.

Диаметр обода определяется условием обеспечения необходимого радиуса качения колеса, конструкцией тормоза и условиями стандартизации колес.

Требования к проходимости автомобиля выполняются путем выбора соответствующего рисунка протектора шины, а также применением шин специальных типов (см. гл. V).

Скоростной режим движения автомобиля, для которого предназначена шина, учитывается главным образом при выборе материалов. Шины, рассчитанные на работу при высоких скоростях, изготавливаются из материалов, обладающих большой температуростойкостью и низким теплообразованием. Для спортивных и гоночных автомобилей применяются шины специальных конструкций (см. гл. V).

Безопасность езды обеспечивается правильным выбором рисунка протектора шины, гарантирующего надежное сцепление с дорогой, повышением прочности шины, а также применением специальных конструктивных мер против проколов (двухполостные камеры, самоклеивающийся слой и т. п.).

Безопасность движения при проколах надежно обеспечивают бескамерные шины, но и в этих шинах иногда дополнительно применяются предохранительные диафрагмы и самоклеивающийся слой.

Требование бесшумности движения выполняется в легковых шинах путем выбора специальных типов рисунка протектора.

Наряду с перечисленными требованиями при конструировании шины учитывается удобство монтажа и обслуживания (накачка, проверка внутреннего давления) и необходимость взаимозаменяемости шин на всех осях автомобиля.

Одним из важнейших требований к шине является ее экономичность, которая оценивается затратами на шины, отнесенными к одному тонно-километру. Эта величина может быть подсчитана по формуле

$$A = \frac{Z}{Qs} + \frac{W}{Q}$$

где Z —стоимость шины, включая стоимость ее ремонта;

Q —грузоподъемность шины;

s —километраж шины до разрушения, включая послеремонтный пробег;

W —стоимость горючего, расходуемого на 1 км пути для компенсации потерь на качение в шине.

Определение абсолютного количества горючего, расходуемого для компенсации потерь энергии в шине, представляет значительные трудности, однако разница в количестве расходуемого горю-

чего для двух сравниваемых моделей шин может быть легко определена при испытании шин на одном и том же автомобиле в одинаковых дорожных и других условиях.

Решающее влияние на экономичность шины оказывает ее долговечность, зависящая от совершенства конструкции, технологии изготовления, от качества примененных материалов и соблюдения правил эксплуатации.

Экономичность шины возможно определить точно лишь по результатам ее испытаний, однако ориентировочно экономичность можно определить и для проектируемой шины, исходя из данных для существующих шин, сходных с проектируемой.

Технические требования к шине противоречивы; выполнение одних требований чаще всего может быть достигнуто в ущерб другим, поэтому при конструировании шины обычно должно быть найдено компромиссное решение.

ВЫБОР ШИННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Как правило, одна и та же деталь шины может быть изготовлена из различных материалов. Однако долговечность шины, ее эксплуатационные качества при применении разных материалов будут различными, различной будет и экономичность конструкции.

Выбор наиболее подходящих материалов для изготовления деталей шины является сложной задачей. Эта задача решается в каждом отдельном случае так, чтобы обеспечить достаточную долговечность, надежность и экономичность конструкции.

Главным при выборе материалов является знание режимов их нагружения в условиях эксплуатации (см. гл. II, стр. 156), прочностных и усталостных характеристик. Конструктор должен указать для материалов проектируемой им шины те основные физико-механические характеристики, которые определяют их работоспособность, желательные их значения и режимы испытаний, на основе которых можно провести сравнение различных материалов между собой и выбрать наилучшие для данной конструкции.

Ниже приводятся краткие сведения о свойствах основных материалов, используемых при изготовлении шин, и даны некоторые соображения по их выбору.

Корд и другие текстильные материалы

В настоящее время в производстве автомобильных шин используется вискозный, полиамидный, хлопковый корд и в небольших количествах металлокорд.

Тип корда определяется не только его материалом, но также структурой нитей, их толщиной и частотой нитей в кордной ткани.

Нить текстильного корда состоит из двух-трех более тонких

нитей—стренг, скрученных между собой. В свою очередь стренга состоит из одной—пяти еще более тонких скрученных нитей—пряжи. Пряжа получается в результате скручивания отдельных волокон в одну нить (рис. 145).

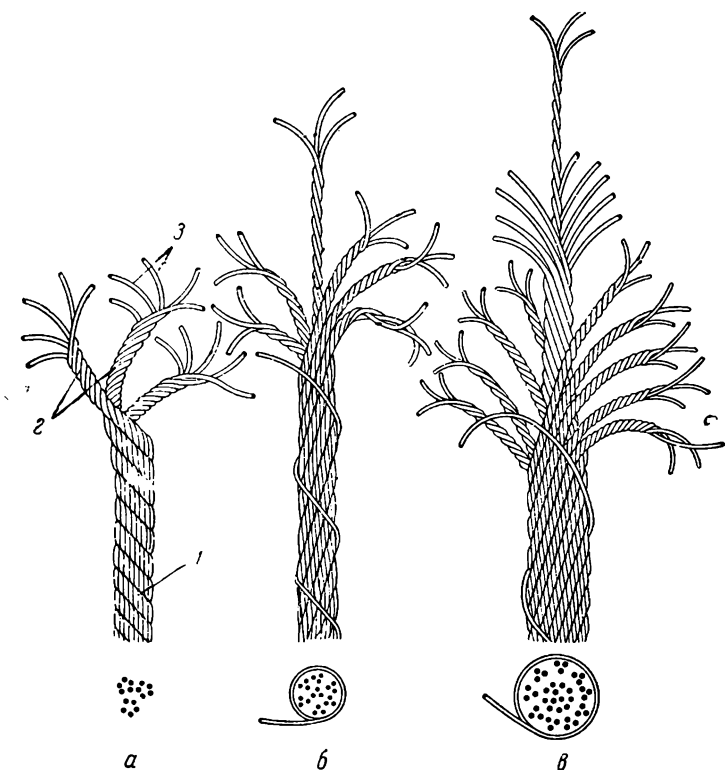


Рис. 145. Конструкции нитей корда:

а—хлопковый корд структуры 34,5/5/3; б—металлокord структуры 3+3/6+1;
 в—металлокord структуры (3+9)+3/9+1.
 1—нить; 2—стренга; 3—пряжа.

В табл. 2 приведены характеристики волокон из различных материалов, используемых для изготовления корда. В таблицу включены показатели, принятые в текстильной промышленности: толщина в денье (вес в граммах волокна длиной 9000 м), номер (длина в метрах волокна весом в 1 г), прочность в г/дене, разрывная длина (длина волокна, вес которого достаточен для его разрыва).

Скручивание волокон в пряжу дает возможность получить нить, обладающую большой гибкостью, упругостью и прочностью. В хлопковом корде скручивание дает возможность за счет сил тре-

Общие характеристики волокон и стальной проволоки, используемых для изготовления корда

Характеристики	Хлопок	Вискоза	Капрон	Стальная проволока
Плотность, $г/см^3$	0,50—1,52	1,49—1,52	1,14	7,8
Толщина мм	0,015—0,020	0,010—0,020	0,020—0,028	0,15—0,22
дене	2,5—4,5	2—4	3—6,5	—
Номер	2000—3500	2250—4500	1400—2800	—
Прочность на разрыв $кгс/мм^2$	20—30	25—60	80—90	230—270
$г/дене$	1,5—2,5	4—7	7—9	—
Разрывная длина, км	15—25	26—54	70—80	30—35
Изменение прочно- сти, % при увлажне- нии	+5	—(30—50)	—(0—10)	0
при нагреве до 120° С	—(25—30)	—(15—30)	—(5—35)	—3
Удлинение при раз- рыве, %	6—8	9—14	14—20	2—3

ния соединить в одно целое короткие, длиной 25—40 мм, волокна хлопка.

Толщина пряжи определяется ее номером, численно равным длине (в метрах) отрезка пряжи весом 1 г.

Структура нити текстильного корда обозначается тремя числами в виде тройной дроби (например, 34,5/4/2), где первое число обозначает номер пряжи, второе—число сложений пряжи в стренге и третье—число сложений стренг в нити (табл. 3).

Различают левое (обозначаемое буквой *S*) и правое (обозначаемое буквой *Z*) направления крутки. Обычно применяют различные направления крутки нити и крутки пряжи и стренги с целью уравновесить силы натяжения волокон в отдельных стренгах и избежать самопроизвольного скручивания нити в свободном состоянии.

Нить металлокорда представляет собой тросик, свитый из проволок толщиной 0,1÷0,25 мм. Применяется металлокорд с диаметром нити в пределах 0,5÷1,5 мм, числом проволок в нити 10÷40 и числом круток в пределах 2÷5 (рис. 145, б и в). Иногда нить металлокорда снаружи обвивается одной проволокой диаметром 0,15 мм с шагом 2÷5 мм. В обозначении конструкции металлокорда цифры, стоящие отдельно или в числителе дроби, обозначают число проволок, цифры, стоящие в знаменателе,

Характеристики нитей отдельных видов шинного корда (суровья)

Характеристики	Хлопок	Вискоза	Капрон	Стальная проволока
Структура нити	37/5/3	5,6/1/2 5,6/1/3 5,45/1/2	10,7/1/2	1/9+1 7/3+1 $\frac{(3+9)+}{+(3/9)+1}$
Толщина нити, мм	0,80	0,67 0,88 0,65	0,50	0,68 0,90 1,15
Крепость, кгс	10,5	11,5 16,5 17,0	12,5	60 100 150
Вес 100 лог. м нити, г	50	41 65 39	25	220 350 600
Общее число сложенных в нити	15	2 3 2	2	10 22 40
Число сложенных в стренге	5	1 1 1	1	9 7 3
Шаг 1-й крутки, мм	1,25	1,7 1,7 2,1	2,1	— 10 6
Шаг 2-й крутки, мм	2,5	2,6 2,6 2,1	2,1	— 10 8
Номер пряжи	37	5,6 5,6 5,45	10,7	— — —
Толщина проволоки, мм	—	— — —	—	0,18 0,15 0,14
Удлинение при разрыве, %	10	11 12 12	26	3 3 3

обозначают число стренг. Знак дроби означает скручивание, знак плюс обозначает обвивку. Последовательность знаков дроби и плюсов обозначает последовательность операций скручивания и обвивки.

Например, если нить обозначается $(3+9) \div (3/9) \div 1$, то это означает, что скрученные три проволоки обвиваются девятью проволочками. Полученная в результате нить обвивается девятью стренгами, каждая из которых скручена из трех проволок, и полученная в результате нить обвита одной проволочкой (рис. 145,в).

Текстильный корд обычно используется в виде ткани с редким утком (табл. 4).

Таблица 4

Общие характеристики кордных тканей

Характеристика	Тип корда		
	хлопковый	вискозный	капроновый
Толщина нити основы, мм	0,64—0,80	0,60—0,80	0,55
Номер нити утка	60—40	40—60	60
Число нитей на 100 мм по основе ткани:			
для основных слоев каркаса	128—94	121—88	128
для последних слоев каркаса	94—70	94—70	94
для брекера	60—46	60—46	60
Число нитей на 100 мм по утку ткани:			
для основных слоев каркаса	8	10	11
для последних слоев каркаса	16	20	20
для брекера	30	30	30
Ширина полотна, см	150	140—150	140
Длина куска ткани, м	180—360	180—360	180
Вес 1 м ² ткани, г	475—226	570—200	360—170

Одновременно с выбором типа корда определяются толщина нитей и их частота в отдельных слоях покрышки. Увеличение толщины нитей дает возможность снизить число слоев в шине и упростить процесс производства, однако чрезмерное увеличение толщины нитей приводит к снижению их прочности при многократном изгибе. В практике шинного производства приняты определенные нормы толщины нитей (см. табл. 3 и 4).

Частота нитей корда в слоях покрышки принимается обычно такой, чтобы отношение толщины нитей к их шагу составляло $\frac{d}{t}=0,7 \div 0,75$. В шинах, имеющих восемь и больше слоев, наружные слои делаются из разреженного корда с отношением $\frac{d}{t}=0,5 \div 0,6$. Еще более редкий корд $\frac{d}{t}=0,3 \div 0,4$ применяется для брекера. Разреженный корд в наружных слоях каркаса и

брекера применяется с целью увеличения заполненных резиной промежутков между нитями и повышения прочности связи между слоями в этой зоне.

Для бортовых и крыльевых лент и для обертки бортовых колец применяются ткани полотняного переплетения, характеристики которых приведены в табл. 5.

Таблица 5

Общие характеристики тканей, применяемых в конструкции шин

	Назначение тканей					
	Бортовые и крыльевые ленты				Обертка бортовых колец	
		Чифер ИТ		Ткань-сетка*	Доместик	Бязь
Вид волокна	Хлопковое	Хлоп- ковое	Вискозное	Капро- новое	Хлэп- ковое	Хлоп- ковое
Толщина ткани, мм . . .	0,60—0,95	1,10	0,35—0,55	0,55	0,55	0,50
Вес 1 м ² ткани, г	250—530	500	230—400	150	260	220
Число нитей на 100 мм						
по основе	65—105	92	80—95	100	220	214
по утку	70—130	90	80—110	100	196	174
Крепость полоски шири- ной 50 мм, не менее, кгс						
по основе	—	130	—	60	65	63
по утку	—	130	—	60	70	48

* Ткань-сетка изготавливается из моноволокна толщиной 0,2 мм.

Ткань-сетка из полиамидного моноволокна применяется для бортовых лент бескамерных шин, так как при этом исключается проникновение воздуха в борт вдоль нитей, приводящее к расслоению борта.

В металлокордных шинах крыльевые ленты выполняются также из металлокорда.

Вискозный корд применяется для легковых и грузовых шин, главным образом предназначенных для эксплуатации на дорогах с усовершенствованным покрытием.

Показатели прочности вискозного волокна колеблются в значительных пределах. Волокно повышенной прочности является более дорогим и используется в наиболее ответственных конструкциях (шины повышенной грузоподъемности и шины, рассчитанные на эксплуатацию при высоких скоростях).

Основным преимуществом вискозного корда является его высокая теплостойкость. Прочность этого корда почти не изменяется при температурах, достигающих 100 °С. Это свойство вискозного корда является особенно ценным в шинах из синтетического кау-

чука, где при качении развиваются более высокие температуры, чем в шинах из НК.

Основным недостатком вискозного корда является значительное снижение его прочности при повышенной влажности.

Разрывная прочность нитей полиамидного корда существенно превышает прочность нитей вискозного корда. Это дает возможность изготавливать шины из полиамидного корда с уменьшенной толщиной каркаса (уменьшая толщину нитей корда или число слоев корда в каркасе).

Малая жесткость полиамидного корда обуславливает более легкие условия работы резины каркаса, чем при применении вискозного корда. Поэтому шины из полиамидного корда легче изготавливать на основе синтетических каучуков. В них можно также допускать уменьшенную толщину резиновых прослоек.

Большие удлинения полиамидного корда обуславливают высокое сопротивление шины разрывам и пробоям.

Полиамидный корд дороже, чем вискозный. Однако его применение экономически оправдано высокой работоспособностью шин, изготовленных из полиамидного корда, а также малым их весом.

Полиамидный корд в первую очередь применяется в грузовых многослойных шинах и в легковых шинах для машин высокого класса. Целесообразно применять полиамидный корд для шин, работающих при повышенных нагрузках, больших скоростях и на неусовершенствованных дорогах.

Хлопковый корд в настоящее время сохранил лишь ограниченное применение в шинах для грузовых автомобилей средней грузоподъемности при числе слоев корда не более 8. Хлопковый корд также применяется в шинах, предназначенных для различных передвижных установок, прицепов и машин, которые работают на низкой скорости. В бескамерных шинах хлопковый корд не применяется, не рекомендуется он и для шин с повышенной грузоподъемностью, а также для шин, рассчитанных на повышенные скорости.

Металлокорд обладает значительно более высокой разрывной прочностью, чем текстильный корд, но очень низкие упругие удлинения металлокорда и низкое сопротивление многократному изгибу ограничивают возможность его применения. Наряду с высокой разрывной прочностью преимуществом металлокорда является его высокая термостойкость.

Малая растяжимость металлокорда и большие усилия, допускаемые в нитях, приводят к возникновению высоких деформаций и напряжений в резине каркаса и брекера шин из металлокорда. Это вызывает необходимость применения утолщенных резиновых прослоек в каркасе и в борте покрышки. В шинах обычной конструкции лучшие результаты дает применение металлокорда с увеличенной толщиной нитей при двухслойной конструкции

покрышки. В этом случае сдвиговые деформации в каркасе минимальны. В наибольшей степени преимущества металлокорда проявляются в покрышках типа Р, с меридиональным расположением нитей корда в каркасе (см. гл. IV).

Металлокорд целесообразно применять в шинах для автобусов и грузовых автомобилей, работающих на дорогах с усовершенствованным покрытием, находящемся в хорошем состоянии, особенно при эксплуатации с высокой средней скоростью, длительной безостановочной езде, при высоких требованиях безопасности.

В шинах, работающих при значительной перегрузке и на неусовершенствованных дорогах, металлокорд не имеет преимуществ в сравнении с полиамидным кордом.

Резина для деталей шин

Резины, из которых изготавливаются детали шины, должны удовлетворять различным требованиям, в зависимости от той роли, которую эти детали играют в работе шины в целом.

Выбор комплекса физико-механических характеристик, определяющих пригодность резины для шин, представляет собой весьма сложную задачу, так как требования к свойствам резины взаимосвязаны и часто противоречивы. При выборе резин должны также учитываться экономические соображения.

В основном резины, используемые в конструкции шин, делятся на протекторные, каркасные и брекерные. Специальные резины используются для герметизирующего слоя и бортовой ленты бескамерных шин, для изготовления камер и ободных лент, а также для второстепенных деталей обычных покрышек (наполнительного шнура борта, изоляции проволоки бортовых колец и др.).

Представление об основных физико-механических характеристиках резин, применяемых в настоящее время для изготовления шин, дает табл. 6.

Главными требованиями, которые предъявляются к протекторным резинам, являются высокая износостойкость, высокое сопротивление порезам, раздиру, образованию и разрастанию трещин, а также низкие гистерезисные потери.

При длительном движении автомобиля шина нагревается, поэтому указанные свойства резины протектора должны сохраняться при повышенной температуре до $80 \div 100$ °С. Резина протектора должна сохранять свои свойства в течение длительного времени, находясь под действием озона и кислорода воздуха.

В табл. 6 приведены показатели физико-механических свойств протекторных резин двух типов: на основе натурального каучука (НК) и на основе бутадиен-стирольного (СКС). В резинах на ос-

Основные физико-механические характеристики шинных резин

Наименование показателей	Протектор			Боковина		Брекер и наружные слои каркаса	Внутренние слои каркаса	Термети-закрывающий слой	Бортовая лент	Наполнительный шнур	Газовая камера	Ободная лента
	Беговой слой		Подкапачный слой СКС	Для легковых шин								
	НК	СКС		Для грузовых шин	белая							
Предел прочности при разрыве, кгс/см ²	240—310	150—240	100—200	90—290	150—280	160—300	100—300	85—250	150—250	200—300	100—300	50—200
Относительное удлинение при разрыве, %	400—600	400—600	400—600	400—620	600—700	450—600	500—700	300—650	200—400	350—400	600—800	300—600
Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	15—30	15—30	12—38	12—28	20—50	—	—	—	10—20	20—35	20—45	10—30
Условное напряжение при удлинении, кгс/см ²	50—100	35—70	35—60	25—65	15—35	—	—	—	—	—	—	—
при 200%	90—190	60—140	70—160	50—115	20—60	60—120	35—85	25—80	100—250	150—200	30—50	50—100
при 300%	60—100	60—65	55—68	55—65	55—60	—	—	—	65—85	65—70	—	—
Твердость по Шору	100—140	50—85	55—60	35—100	35—45	50—120	40—100	20—100	35—90	70—120	30—70	40—140
Сопротивление раздиру, кгс/см	40—50	30—45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Упругость по отскоку, %	0,7	0,5	—	—	—	0,45—0,8	0,35—0,65	—	—	—	0,35—0,65	—
Коэффициент температуростойкости*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Коэффициент старения**	0,35	0,75	—	—	—	0,7	0,4—0,7	—	—	—	—	—
Потери при истирании, см ³ /кат./ч	140—300	100—450	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Отношение предела прочности при растяжении при 100 °С к пределу прочности при растяжении при 20 °С.

** Отношение предела прочности при растяжении после 72 ч выдержки при 100 °С к пределу прочности при растяжении при 20 °С.

нове СКС может содержаться в некотором количестве НК. Резины на основе НК по сравнению с резинами на основе СКС имеют более высокие показатели прочности, температуростойкости и выносливости при многократных деформациях³³.

Резины из натурального каучука обладают высоким сопротивлением разрушению под действием концентрированных нагрузок и сопротивлением порезам, особенно при повышенных температурах. Эти резины также обладают минимальным теплообразованием.

Протекторные резины на основе полиизопренового каучука по свойствам приближаются к резинам из натурального каучука, и их рекомендуется применять в тех же случаях, что и резины из НК.

Протекторные резины на основе НК целесообразно применять в грузовых многослойных шинах, работающих в тяжелых дорожных условиях, в шинах, работающих в условиях тропического климата, а также в легковых шинах для автомобилей высокого класса и в шинах из металлокорда.

Протекторные резины из бутадиев-стирольного каучука целесообразно применять для изготовления грузовых шин средней и малой слойности, работающих на дорогах с усовершенствованным покрытием или на мягком грунте и для изготовления легковых шин.

Резины из комбинации натурального и бутадиев-стирольного каучука целесообразно применять для изготовления многослойных грузовых шин, которые эксплуатируются на различных дорогах.

При выборе протекторной резины следует иметь в виду, что увеличение износостойкости резины связано в большинстве случаев с увеличением ее жесткости. При увеличении жесткости протектора возрастают напряжения в брекере и каркасе при изгибе, поэтому повышаются требования к прочности резины и корда.

Для покрышек с малым числом слоев корда роль напряжений изгиба незначительна. Для протекторов этих покрышек может применяться более жесткая резина.

Протектор из резины на основе СКС часто делается двухслойным. Подканавочный слой не работает на износ, и для него подбирается резина с высоким сопротивлением образованию и разрастанию трещин и с относительно меньшими прочностью и жесткостью. Для бегового слоя применяется резина, имеющая повышенную жесткость с более высокой прочностью и сопротивлением износу. Это уменьшает опасность образования и разрастания трещин по дну канавок рисунка протектора и снижает напряжения в каркасе и брекере.

Двухслойный протектор часто применяется для легковых шин и значительно реже для грузовых малослойных шин.

Так как обычно боковины шприцуются вместе с протектором, они изготавливаются из той же резины, что и подканавочный слой протектора. Иногда, при однослойном протекторе, боковины изготавливаются отдельно из резины с меньшей разрывной прочностью, но с большим сопротивлением разрастанию трещин.

На некоторых легковых шинах применяются декоративные белые боковины. Резины для этих боковин изготавливаются без сажи и отличаются высоким удлинением при разрыве 600—700% и пониженным сопротивлением раздиру (34—45 кгс/см²).

Применение белой резины для боковины ограничивается малым сопротивлением этой резины старению, так как наиболее эффективные противостарители вызывают потемнение белой боковины.

Каркасная резина, изолирующая нити корда, должна обладать высокой выносливостью при многократных деформациях и малыми гистерезисными потерями. От каркасной резины не требуются высокие показатели прочности на разрыв и на раздир, но требуется малое падение прочности при повышенных температурах до 100—110 °С, а также высокое сопротивление тепловому старению. Наиболее высокую усталостную прочность должна иметь резина наружных слоев каркаса, которые работают при больших деформациях и температурах, чем остальные слои.

Для наружных слоев каркаса и брекера обычно применяют более жесткую резину, чем для внутренних слоев каркаса. Благодаря этому уменьшается амплитуда деформации сдвига в резине наружных слоев и брекера за счет увеличения деформации в менее нагруженных внутренних слоях, а также за счет увеличения деформации нитей корда (см. гл. II, стр. 159).

Резины на основе синтетического каучука, имеющие более низкие прочностные и другие показатели, применяются для внутренних слоев каркаса, главным образом в малослойных покрышках. Для наружных слоев каркаса чаще применяются резины на основе НК или резины из НК с небольшими добавками СКС.

Для резиновых прослоек каркаса обычно применяется та же резина, что и для обкладки корда.

Для брекера целесообразно применять резины из НК без добавок СКС. Равноценной заменой натурального каучука является синтетический полиизопреновый каучук (СКИ).

Резина герметизирующего слоя бескамерных шин должна обладать малой воздухопроницаемостью и высоким сопротивлением окислительному старению. К показателям прочности этой резины предъявляют умеренные требования.

Для герметизирующего слоя применяются резины на основе натурального каучука и бутилкаучука; СКС часто применяется в качестве добавки к НК.

Резина для бортовых лент бескамерных и металлокордных шин должна обладать высоким сопротивлением износу и низкими остаточными деформациями.

Наполнительная резина для борта металлокордных шин должна иметь высокую прочность, теплостойкость и сопротивление многократным деформациям.

Резина для ездовых камер должна обладать малой воздухопроницаемостью, высоким сопротивлением разрыву и раздиру, малыми остаточными деформациями, а также высоким сопротивлением старению и теплостойкостью.

Камерные резины для грузовых шин изготавливаются на основе бутадиен-стирольного, натурального каучука и бутилкаучука, либо на основе бутадиен-стирольного каучука с добавкой натурального. Для легковых шин камеры обычно изготавливаются из синтетического каучука.

К резине для ободных лент предъявляются умеренные требования по прочности, эластичности и по сопротивлению старению. Резины для ободных лент изготавливаются на основе регенерата, бутадиен-стирольного и натурального каучуков. Для многослойных грузовых шин и для шин из металлокорда применяют ободные ленты из более прочной резины.

Бортовая проволока

Для изготовления бортовых колец применяется стальная проволока с временным сопротивлением $160\text{--}220 \text{ кгс/мм}^2$ и относительным удлинением при разрыве $2\text{--}6\%$.

Проволока должна выдерживать без образования трещин не менее 15 повторных изгибов и 30 повторных скручиваний (по специальной методике).

Наиболее прочная проволока применяется в легковых шинах, работающих при высоких скоростях движения, в шинах для междугородных автобусов и в многослойных шинах высокой грузоподъемности.

Поверхность проволоки должна обеспечивать высокую прочность связи с изоляционной резиной и сопротивление коррозии.

Для увеличения прочности связи с резиной применяют лагнурованную или оцинкованную проволоку.

Начальная кривизна проволоки, затрудняющая технологический процесс изготовления колец, ограничивается техническими условиями. Обычно задается величина предельно допустимого прогиба отрезка проволоки длиной в один метр.

Большей частью применяют проволоку диаметром в 1 мм , но иногда, особенно при изготовлении колец из одиночной проволоки, применяют проволоку диаметром $1,2 \div 2,5 \text{ мм}$.

Ширина профиля надутой шины и внутреннее давление

Ширина профиля надутой шины определяется в зависимости от заданной грузоподъемности шины.

Подробно соотношения между этими величинами рассмотрены в гл. II, стр. 163.

Простейшая зависимость между грузоподъемностью Q шины и шириной ее профиля B выражается формулой (82):

$$Q = kB^2$$

где k —коэффициент грузоподъемности. Для шин данного типа коэффициент k является весьма стабильным.

Внутреннее давление в шине выбирается так, чтобы отношение радиального прогиба f шины к ширине B (или высоте H) ее профиля лежало в определенных пределах. Соответствующее давление может быть подсчитано по формулам, приведенным в гл. II (стр. 115).

Для каждого типа шины отношение $\frac{f}{B}$ или $\frac{f}{H}$ принимается постоянным. Постоянство относительной радиальной деформации является условием подобия, обеспечивающим для однотипных шин различных размеров приблизительно одинаковые деформации в элементах шины под действием не только радиальной статической нагрузки, но и под действием окружных и тяговых нагрузок. Ниже приведены принятые в практике величины коэффициента грузоподъемности и относительного прогиба автомобильных шин (при проектировании шин стандартного ассортимента ширина профиля и давление могут определяться по таблицам соответствующих стандартов):

	Коэффициент грузоподъем- ности, k	Относи- тельный прогиб, % $\frac{f}{B} \cdot 100$
Грузовые шины	2,30—2,70	10—11
Легковые шины	1,50—1,80	12—16

По шинам повышенной грузоподъемности в соответствии с перспективным сортаментом шин, разработанным в НИИ шинной промышленности, предусмотрено увеличение радиальной нагрузки Q и небольшое увеличение внутреннего давления. Шины перспективного сортамента рассчитаны на применение материалов улучшенного качества.

При использовании шин с нагрузкой меньшей, чем предельная, внутреннее давление в них снижается с тем, чтобы обеспечить

постоянство относительного прогиба. В этих условиях пробег шин до разрушения возрастает.

При конструировании шин для специальных машин, скорость движения которых ограничена, допускается повышение нагрузки на шину сверх рекомендуемой в следующих пределах: скорость не больше 40 км/ч—до 25%, не больше 15 км/ч—до 40%, не больше 5 км/ч—до 85%.

Обод

Диаметр обода задается в технических требованиях к шине, так как он определяется главным образом типом автомобиля, условиями его компоновки, а также характером дорог, на которых будет эксплуатироваться автомобиль.

Ширина обода, высота закраины и другие размеры обода (см. рис. 23—24, стр. 27, 29) стандартизованы и выбираются в зависимости от ширины профиля надутой шины и ее конструкции.

С точки зрения повышения срока службы шины всегда целесообразно выбирать обод возможно большего диаметра.

В последние годы для грузовых и легковых шин нашли применение уширенные обода. Если до последних лет ширина обода составляла в среднем 68% от ширины профиля шины, то для современных углубленных ободов легковых автомобилей это отношение повышено до 73%.

Для снижения веса колеса конструкторы автомобилей часто стремятся использовать более узкий обод, однако в этом случае снижается срок службы шины и ухудшается устойчивость и управляемость автомобиля. В ряде случаев, наряду с рекомендуемым ободом, стандартами допускается применение более узкого обода. При применении узкого обода нагрузка на шину не должна превышать 90—95% ее максимальной грузоподъемности.

Для грузовых шин повышенной грузоподъемности применяются только уширенные обода с коническими полками. Плотная посадка бортов покрышки на конические полки обеспечивает повышение работоспособности шины.

Высота закраины обода выбирается такой, чтобы деформации борта в зоне бортового кольца были минимальными и вместе с тем чтобы не стеснять деформации боковых стенок покрышки. Эта высота тем больше, чем больше слоев в покрышке и чем больше сечение проволочных колец. У широких ободов с коническими полками, обеспечивающими надежное крепление основания борта, высота закраины уменьшена.

На стандартные глубокие обода могут монтироваться шины, имеющие не более шести слоев корда. Для бескамерных грузовых шин используются специальные глубокие обода с низкими закраинами. На такие обода можно монтировать шины, имеющие до двенадцати слоев корда.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации автомобиля, для которого проектируется шина, выбирается тип рисунка протектора.

Существуют следующие типы рисунков:

- а) дорожный;
- б) универсальный;
- в) повышенной проходимости;
- г) специальные (для каменных карьеров, снега и др.).

На рис. 146 представлены рисунки протектора шин различных типов.

Рисунок протектора дорожного типа обычно образуется относительно узкими продольными канавками. Продольные канавки дополняются узкими или щелевидными канавками, имеющими поперечное или диагональное направление (рис. 146, а).

Дорожный рисунок применяется для шин, работающих на дорогах с усовершенствованным покрытием. Эти шины отличаются высокой износостойкостью и грузоподъемностью. Для грузовых и автобусных шин с рисунком протектора дорожного типа допускается скорость до $80 \div 100$ км/ч, а для легковых шин $120 \div 170$ км/ч. Однако рисунок протектора дорожного типа не обеспечивает необходимого сцепления на грязных и заснеженных дорогах.

Рисунок протектора универсального типа обычно образуется относительно узкими различного направления канавками в средней части беговой дорожки и широкими канавками по краям беговой дорожки (рис. 146, б).

Универсальный рисунок протектора применяется для шин, работающих как в дорогах с усовершенствованным покрытием, так и на неусовершенствованных дорогах. Шины с универсальным рисунком протектора имеют несколько меньшую износостойкость, чем шины с дорожным рисунком, но обеспечивают более высокое сцепление на дорогах, покрытых грязью и снегом, на грунтовых влажных дорогах и т. п. Шины с рисунком универсального типа получили в последние годы большое распространение.

Рисунок протектора повышенной проходимости (рис. 146, в) образуется массивными выступами—грунтозацепами, между которыми располагаются широкие канавки, выходящие на край беговой дорожки.

Грунтозацепы в современных рисунках обычно расчленяются одной или несколькими узкими канавками.

Шины с рисунком протектора повышенной проходимости предназначены для работы на грунтовых дорогах и в условиях бездорожья: применение таких шин на дорогах с твердым покрытием ограничивают из-за малой износостойкости их протектора.

Для специального назначения применяются другие типы рисунков протектора. Так, рисунок протектора шин, предназначен-

ных для работы в каменных карьерах (рис. 146, *г*), имеет небольшое число относительно узких канавок и массивные малорасчлененные выступы. Такой рисунок обладает высоким сопротивле-

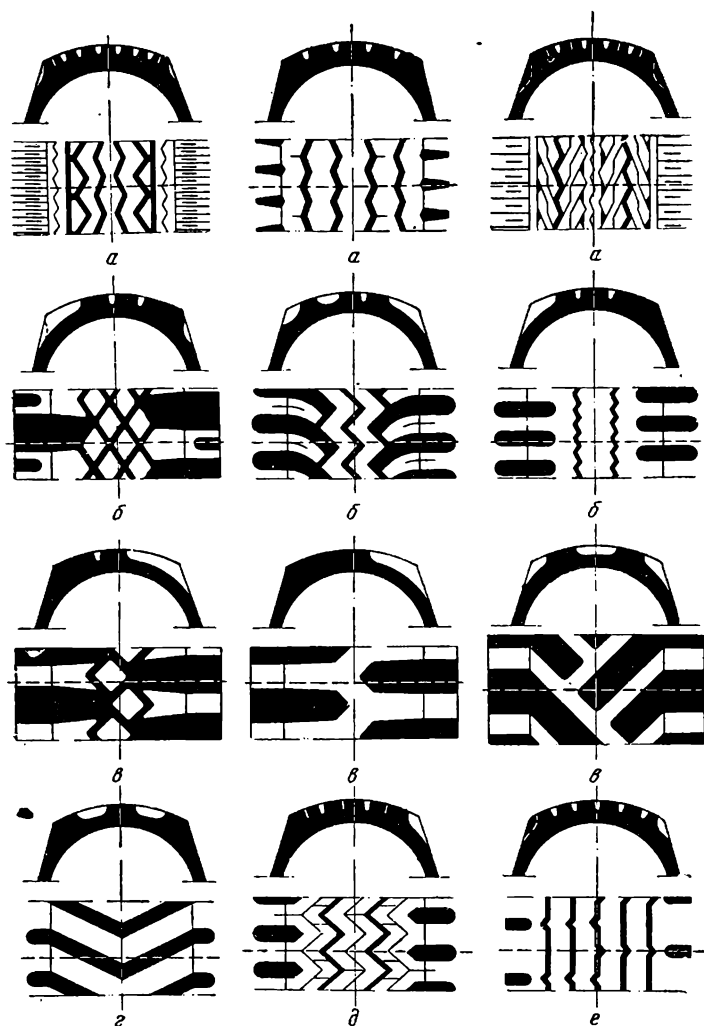


Рис. 146. Типы рисунка протектора автомобильных шин:
а—дорожный; *б*—универсальный; *в*—повышенной проходимости; *г*—для каменных карьеров; *д*—для заснеженной дороги и гололеда; *е*—для рыхлого песчаного грунта.

нием износу и механическим повреждениям, но удовлетворительное сцепление может обеспечивать лишь на дорогах с твердым покрытием и на твердых грунтах.

«Зимний» рисунок протектора (рис. 146, д) имеет множество узких глубоких и щелевидных канавок, поперечных и диагональных, которые создают концентрацию давления шины на дорогу по краям выступов рисунка, что повышает сопротивление пробуксовыванию колеса на заснеженных и обледенелых дорогах.

При выборе типа рисунка протектора наряду с техническими требованиями к шине учитываются также технологические возможности изготовления проектируемой шины и прессформы для нее.

Вслед за выбором типа рисунка протектора шины устанавливаются основные размеры протектора: ширина и кривизна беговой дорожки, глубина рисунка и толщина подканавочного слоя.

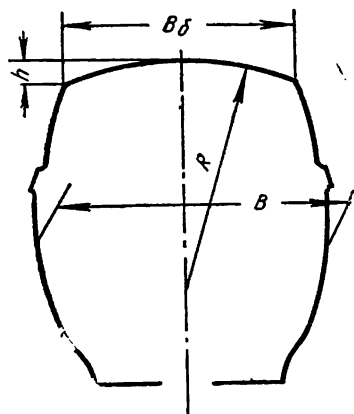


Рис. 147. Очертание беговой дорожки шины.

Ширина беговой дорожки B_6 принимается обычно в определенном отношении к ширине профиля шины B (рис. 147). Для грузовых покрышек с дорожным и универсальным рисунком протектора $\frac{B_6}{B} = 0,70 \div 0,85$; для грузовых покрышек с рисунком протектора повышенной проходимости— $0,85 \div 0,95$ и для легковых шин с дорожным рисунком протектора— $0,65 \div 0,80$.

При выборе отношения $\frac{B_6}{B}$ для проектируемой шины следует иметь в виду, что с увеличением ширины беговой дорожки уменьшается удельное давление на дорогу и повышается износостойкость, но при этом увеличивается толщина протектора по краю беговой дорожки и, следовательно, повышается температура и опасность расслоений в этой зоне; увеличивается также жесткость стенок покрышки, что способствует излому каркаса по боковине.

Кривизна беговой дорожки принимается такой, чтобы стрела дуги протектора h составляла 4—8% от ширины профиля B . Большее значение $\frac{h}{B}$ принимается для шин, имеющих уширенную беговую дорожку, например для шин с рисунком протектора повышенной проходимости. Чрезмерное уменьшение кривизны беговой дорожки приводит к увеличению неравномерности распределения давления по ширине площади контакта шины с дорогой, причем резко возрастает давление по краю беговой дорожки. Увеличивается также деформация боковых стенок шины при воздействии радиальной нагрузки, что способствует излому каркаса. При увеличении кривизны беговой дорожки возрастает

Кривизна беговой дорожки принимается такой, чтобы стрела дуги протектора h составляла 4—8% от ширины профиля B . Большее значение $\frac{h}{B}$ принимается для шин, имеющих уширенную беговую дорожку, например для шин с рисунком протектора повышенной проходимости. Чрезмерное уменьшение кривизны беговой дорожки приводит к увеличению неравномерности распределения давления по ширине площади контакта шины с дорогой, причем резко возрастает давление по краю беговой дорожки. Увеличивается также деформация боковых стенок шины при воздействии радиальной нагрузки, что способствует излому каркаса. При увеличении кривизны беговой дорожки возрастает

ет давление на дорогу в центральной части площади контакта, работа же боковин на изгиб облегчается.

В случае уширенной беговой дорожки (при универсальном рисунке протектора или рисунке повышенной проходимости) целесообразно профиль беговой дорожки очерчивать тремя дугами. Средняя часть беговой дорожки очерчивается дугой радиуса $R_1 = (1 \div 1,5)B$, а по краям беговой дорожки профиль очерчивается дугами радиуса $R_2 = (0,25 \div 0,5)R_1$ (рис. 148).

Применение дуг малого радиуса по краям беговой дорожки дает возможность облегчить работу брекера и каркаса за счет уменьшения изгиба в зоне беговой дорожки в связи с уменьшенной кривизной, а также уменьшить толщину массивов выступов рисунка протектора по краю беговой дорожки.

Глубина рисунка протектора по середине беговой дорожки является одной из основных характеристик конструкции протектора. Чем больше глубина рисунка протектора, тем больше долговечность шины до полного износа, выше сцепление шины с дорогой (на грунтовых дорогах, по грязи и снегу), но вместе с тем больше напряжения сдвига в брекере, выше температура нагрева шины при езде, больше потери на качество по дороге с твердым покрытием, а также больше вес шины и больше склон-

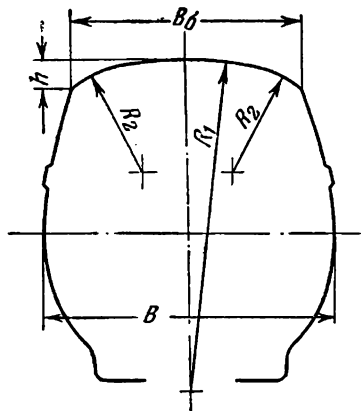


Рис. 148. Форма беговой дорожки с увеличенной кривизной по краям.

ность протектора к образованию трещин по канавкам рисунка.

При конструировании глубина рисунка протектора по середине беговой дорожки принимается в определенных пределах в зависимости от ширины профиля шины и типа рисунка протектора.

Практические данные по применяемой глубине рисунка протектора по середине беговой дорожки приведены в табл. 7.

Наряду с глубиной рисунка для стандартных шин в таблице приведены также размеры глубокого рисунка для так называемых «высококилометровых» шин. Эти шины, получившие распространение в последние годы, целесообразно применять на неусовершенствованных дорогах, где обычные шины быстро изнашиваются, а недостатки шин с толстым протектором (большие потери на качество и высокая температура нагрева) сказываются в меньшей степени.

Глубина рисунка обычно является переменной; к краю беговой дорожки глубина увеличивается в 1,2—1,5 раза по сравнению

с глубиной рисунка по центру беговой дорожки. Это дает возможность при заданной кривизне протектора получить приблизительно постоянную толщину подканавочного слоя и уменьшить теплообразование.

Таблица 7

Глубина рисунка протектора автомобильных шин (в мм)

Тип рисунка протектора	Грузовые шины						
	Ширина профиля шины, мм						
	140—160	160—180	200—220	240—260	280—310	320—350	400—480
Дорожный (стандартный) . . .	8—10	9—11	10—12	11—13	12—14	13—15	—
Дорожный (глубокий)	—	12—16	14—18	15—20	16—24	—	—
Универсальный (стандартный)	9—11	10—12	11—13	12—15	14—16	—	—
Универсальный (глубокий) . .	—	12—16	14—18	16—20	18—24	—	—
Повышенной проходимости . .	10—13	13—15	14—16	15—18	15—20	18—22	20—25
	Легковые шины						
	Ширина профиля шины, мм						
	100—120	120—140	140—160	160—180	180—210	210—240	—
Дорожный	5,5—7	6,5—8,5	8—10	9—11	9—12	10—12	—
Повышенной проходимости . .	6,5—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—20	—

Глубина рисунка дорожного и универсального типа иногда делается постоянной на большей части (80—100%) ширины беговой дорожки. В этом случае увеличивается толщина подканавочного слоя у края беговой дорожки, что приводит к повышенному теплообразованию в шине.

Толщина подканавочного слоя протектора принимается обычно в пределах 40—60% от глубины рисунка в грузовых шинах и в пределах 30—50% — в легковых шинах.

Толщина подканавочного слоя должна быть тем большей, чем ниже сопротивление резины образованию и разрастанию трещин.

Основные размеры профиля надутой шины

При заданной ширине профиля надутой шины, заданных размерах обода и выбранном угле нити корда по экватору (угол нити корда по экватору, обеспечивающий максимальную работоспособность обычных шин, лежит в пределах 50—54°) все размеры надутой шины могут быть определены расчетом по номограммам, как это описано в гл. II на стр. 77 (см. рис. 67).

Поскольку расчет определяет размеры шины по внутреннему контуру каркаса, необходимо предварительно определить толщину стенок покрышки и конфигурацию борта шины.

Толщина стенки t складывается из толщины боковины и толщины каркаса. Толщиной боковины можно задаться в соответствии с практическими данными. Для определения толщины каркаса нужно знать тип корда, количество его слоев, калибр обрезиненного слоя корда и прессовку.

Число слоев в каркасе зависит от прочности применяемого корда и определяется расчетом шины на прочность. Так как такой расчет может быть выполнен лишь после определения равновесного профиля шины, целесообразно предварительно принять число слоев корда ориентировочно, руководствуясь практическими данными по существующим шинам и рекомендациями стандартов. Следует отметить, что если в дальнейшем в результате расчета придется несколько изменить число слоев корда, то это, как показывает опыт, не повлияет заметно на размеры наружного контура покрышки.

Толщина обрезиненного слоя корда зависит от толщины нити корда, его свойств, прочности резины и прочности связи между резиной и кордом. С увеличением отношения $\frac{m}{d}$, где d —толщина нити, m —толщина обрезиненного корда, уменьшаются напряжения сдвига в резине при изгибе каркаса. Вместе с тем чрезмерное увеличение толщины обрезиненного корда приводит к заметному ухудшению условий отвода тепла и невыгодно в экономическом отношении. В табл. 8 приведены практически принимаемые отношения толщины слоев обрезиненного корда в вулканизированной шине к толщине нитей.

Таблица 8

Отношение средней толщины слоя по экватору шины к толщине нити

При количестве слоев корда	В шинах для усовершенствованных дорог		В шинах для неусовершенствованных дорог	
	вискозный корд	полиамидный корд	вискозный корд	полиамидный корд
4—6	1,3—1,7	1,1—1,5	1,8—2,0	1,6—1,8
8—10	1,5—1,8	1,3—1,6	1,9—2,1	1,7—1,9
12—14	1,7—1,9	1,5—1,7	2,0—2,2	1,8—2,0

Меньшие значения толщины обрезиненного корда принимаются при использовании резин, обладающих высокой усталостной прочностью (на основе натурального или полиизопренового каучуков), при высокой прочности связи между резиной и кордом.

В шинах на основе бутадиен-стирольного каучука принимаются увеличенные толщины кордных слоев.

Приведенные цифры относятся к средним толщинам слоев по экватору шины, причем в них включены и толщины резиновых прослоек. Прослойки размещаются преимущественно в наружных слоях каркаса под беговой дорожкой шины с целью увеличения количества резины в этой, наиболее нагруженной, зоне шины.

В выполненных конструкциях шин используются различные количества резиновых прослоек и различные их толщины. Известную ориентировку в этом отношении дает табл. 9.

Таблица 9

Количество и толщина резиновых прослоек в каркасе шин

Количество слоев корда	В шинах для усовершенствованных дорог		В шинах для неусовершенствованных дорог	
	количество прослоек	средняя толщина мм	количество прослоек	средняя толщина мм
4—6	0—1	0,25—0,4	0—2	0,25—0,4
8—10	0—4	0,4 —0,7	2—4	0,4 —0,7
12—14	2—4	0,5 —0,7	4—6	0,5 —0,7

Для определения толщины каркаса по боковой стенке следует из его толщины по беговой части вычесть суммарную толщину резиновых прослоек.

Для ориентировочного расчета можно принимать толщины каркаса проектируемых шин в соответствии с приведенными в табл. 10 данными, полученными на основе анализа выполненных конструкций.

Ориентировочное построение борта шины выполняется на основе известной конфигурации борта аналогичных шин, а также с учетом приведенных в табл. 10 данных по ширине борта шин. При этом следует иметь в виду, что у покрышек с числом слоев корда менее 8 в борте устанавливается одно проволочное кольцо, покрышки с числом слоев от 8 до 16 имеют обычно два кольца в борте.

После определения толщин стенок шины и конфигурации борта следует определить полуширину b профиля каркаса по внутреннему контуру и положение точки обода (расстояния от оси вращения— $r_{об}$ и от оси симметрии профиля— h).

Размер b определяется путем вычитания из полуширины надутой шины толщины ее боковой стенки

$$b = \frac{B}{2} - t$$

Данные по толщинам элементов автомобильных шин

Ширина профиля, мм	Число слоев корда	Толщина каркаса боковой стенки покрышки, мм	Толщина боковины, мм	Толщина каркаса по экватору (включая брекер) мм	Ширина борта мм
--------------------	-------------------	---	----------------------	---	-----------------

Грузовые шины

160—180	6	5—8	2—3	9—11	18—26
180—210	6—8	6—10	2—3	10—13	20—32
210—240	8—12	10—15	2—3,5	13—18	28—42
240—260	8—12	12—16	2—4	15—20	30—46
280—310	12—14	14—18	2,5—4	18—22	40—52
320—350	14—18	15—25	3—4,5	20—30	42—64
400—480	18—24	20—30	5—7	30—40	56—82

Легковые шины

100—120	4	3—6	1—2	4—6	10—16
120—140	4	4—6	1—2	6—8	10—18
140—160	4	4—6	1—2,5	6—8	10—20
160—180	4—6	4—8	1,5—2,5	6—10	10—24
180—210	4—6	5—8	1,5—2,5	6—12	12—26
210—240	4—6	6—9	2—2,5	8—12	12—26

Затем на чертеж профиля обода наносится ориентировочная конфигурация борта шины, на внутренней поверхности намечается точка обода (см. рис. 65, стр. 75) и замеряются величины $r_{об}$ и h .

По найденным размерам b , $r_{об}$ и h с помощью номограммы для соответствующего угла β_k определяется равновесный внутренний контур каркаса покрышки (см. стр. 76 и рис. 67), в том числе размеры R и r_0 (рис. 149).

При обычно применяемых углах нити корда по экватору $\beta_k = 50—52^\circ$ можно определять размеры R и r_0 , не пользуясь номограммами, по приближенным формулам

$$R = r_{об.} + xb$$

$$r_0 = r_{об.} + (x - 0,85)b$$

На рис. 150 приведены кривые зависимости коэффициента x от отношения $\frac{h}{b}$.

Эти упрощенные зависимости справедливы в том случае, если отношение $\lambda_0 = \frac{r_0}{R}$ лежит в пределах $0,7 \div 0,85$. В противном случае, а также при угле корда по экватору, отличном от $50—52^\circ$, расчет следует вести по номограммам.

После определения размеров R и r_0 определяется наружный диаметр шины и производится расчет на прочность каркаса шины и бортовых колец, позволяющий уточнить число кордных слоев

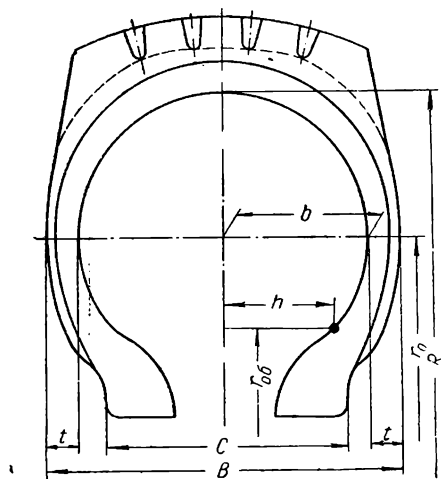


Рис. 149. Построение профиля надутый шины.

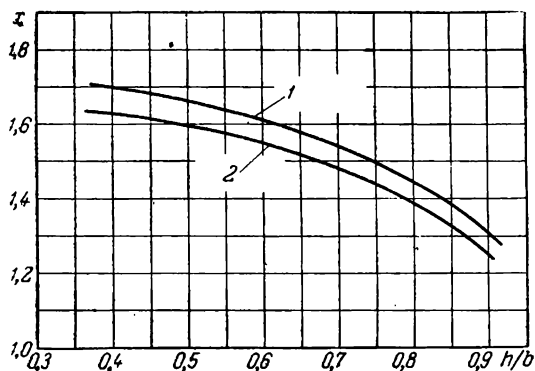


Рис. 150. Коэффициент x в зависимости от отношения $\frac{h}{b}$:

$$1 - \beta_k = 50^\circ; \quad 2 - \beta_k = 52^\circ.$$

и размеры колец. Усилие в нитях корда на экваторе шины определяется по формуле (53):

$$N_{\max} = p \frac{R^2 - r_0^2}{2R \Sigma i_k \cos^2 \beta_k}$$

где Σi_k —сумма частот нитей корда всех слоев, включая брекер, по экватору.

Эта величина может быть вычислена по формуле

$$\Sigma i_k = \Sigma i_0 \frac{r_0}{R \cos \beta_k} \sqrt{1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 (1 + \delta_1)^2 \sin^2 \beta_k}$$

где Σi_0 —сумма частот нитей всех слоев сырого корда в браслете, r_0 —радиус браслета, δ —условная вытяжка нити.

Величины r_0 и δ_1 предварительно выбираются в зависимости от принятого способа сборки шины.

Следует проверять, чтобы при выбранном типе корда число его слоев обеспечивало необходимое значение отношения

$$n = \frac{N_{\text{разр.}}}{N_{\text{max}}}$$

где $N_{\text{разр.}}$ —разрывная прочность нити корда при статическом нагружении.

На основе опыта эксплуатации шин различных типов можно рекомендовать значения отношения n в следующих пределах:

Грузовые шины, предназначенные для эксплуатации на усовершенствованных дорогах	8—12
То же для неусовершенствованных дорог	12—16
Шины для междугородных автобусов	14—18
Шины для каменных карьеров, лесоразработок и т. п.	18—20
Легковые шины для усовершенствованных дорог	10—12
Легковые шины для неусовершенствованных дорог	12—14
Шины для легковых автомобилей высокого класса	12—14

Усилие в борте, вызываемое внутренним давлением, определяется по формуле (54):

$$P_0 = p \frac{R^2 - r_0^2}{2 \cos \beta_c} \cos \beta_k$$

где β_c —угол нити корда в зоне бортовых колец:

$$\sin \beta_c = \frac{r_c}{R} \sin \beta_k$$

причем r_c —радиус кольца.

Необходимое число проволок n_n в борте определяется в зависимости от усилия P_0 по формуле

$$n_n = \frac{k P_0}{\sigma_v f_1}$$

где σ_v —временное сопротивление материала проволоки, $f_1 = \frac{\pi d^2}{4}$ —площадь сечения одной проволоки диаметра d , k —коэффициент запаса прочности.

Для коэффициента k рекомендуются значения, равные $5 \div 7$. Большие значения принимаются для шин, монтируемых на обод с натягом, особенно для бескамерных шин. (В дальнейшем, при поверочном расчете шины, производится расчет усилий в кольце с учетом натяга шины на обод и значения k уточняются, см. стр. 86.)

Вслед за определением числа проволок в борте выбирается число проволок в проволочной ленте (от 6 до 15) и число оборотов ленты в каждом кольце. При этом число оборотов проволочной ленты увеличивают на один по сравнению с обеспечивающим получение в борте n_p проволок, учитывая ослабление кольца стыком. Число оборотов проволочной ленты в кольце обычно составляет от 4 до 10. При числе оборотов более 7 наружные обороты не участвуют, в достаточной мере в восприятии нагрузки.

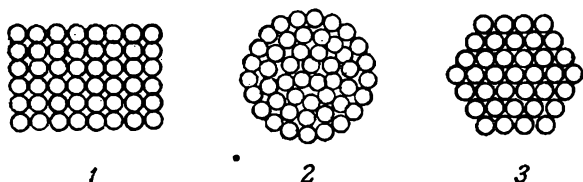


Рис. 151. Конструкция бортовых колец:
 1—кольцо из восьмипрядной проволочной ленты; 2—кольцо круглого сечения из одиночной проволоки; 3—кольцо шести-
 гранного сечения из одиночной проволоки.

Наряду с кольцами из обрезиненной проволочной ленты или из плетенки некоторое распространение получили кольца, наматываемые из одной проволоки, в том числе и кольца, имеющие шестиугольное сечение (рис. 151). Эти кольца являются очень компактными и прочными; они применяются в шинах из металлокорда.

После установления количества слоев корда, их толщины и конструкции проволочных колец может быть сконструирован каркас и борт покрышки. Конструирование следует начинать с борта, чтобы уточнить в случае необходимости положение точки обода и внести соответствующие коррективы в размеры надутой шины. При конструировании борта положение крыльев между слоями, порядок заворота слоев и высота заворотов выбирают таким образом, чтобы обеспечить прочное закрепление слоев в борте при формовании и вулканизации шины и плавное очертание бортов. Положение крыльев и порядок заворота слоев характеризуются так называемой схемой борта. На рис. 152 представлены распространенные схемы борта четырех и восьмислойной покрышек.

При одном и том же числе слоев в шине могут быть использованы различные схемы борта. В качестве примера на рис. 153

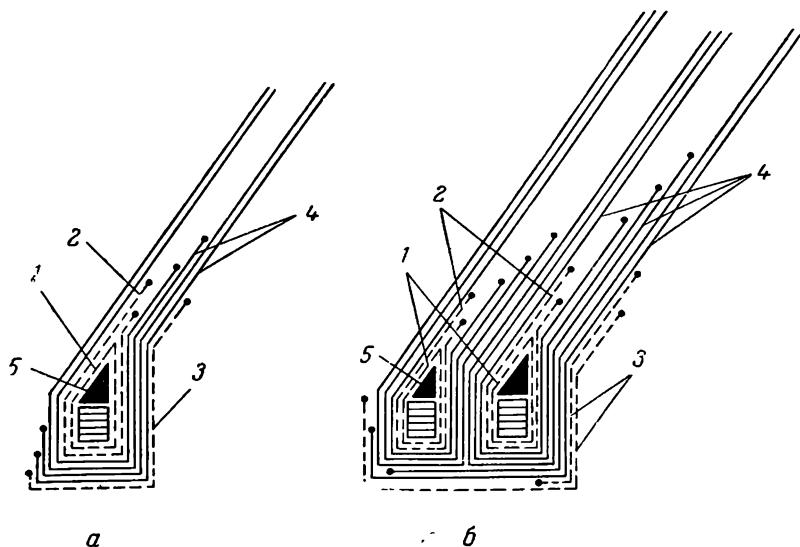


Рис. 152 Схемы борта:

a—четырёхслойной покрышки; *б*—восьмислойной покрышки.
 1—обертка бортовых колец; 2—крыльевые ленты; 3—бортовые ленты; 4—слой корда; 5—наполнительный шнур.

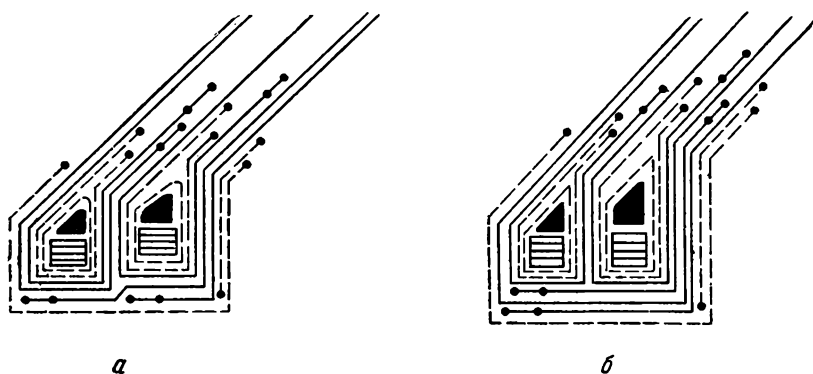


Рис. 153. Две схемы борта десятислойной покрышки:

a—борт с неполным скреплением бортовых колец; *б*—борт с полным скреплением бортовых колец.

приведены две различные применяющиеся на практике схемы борта для десятислойной покрышки с двумя кольцами.

На схемах каждый браслет изображен одной сплошной линией, причем точки соответствуют кромкам слоев, образующих браслет. Крыльевые и бортовые ленты изображены пунктиром. Согласно схеме рис. 153, а, каркас собирается из пяти двухслойных браслетов. Первый и второй браслеты (их можно заменить одним четырехслойным) заворачиваются на первое крыло. Затем надевается третий браслет и ставится второе кольцо, на которое он заворачивается. Вслед за этим надеваются четвертый и пятый браслеты (они также могут быть заменены одним четырехслойным), края которых оканчиваются в подбортовой части. Все слои в

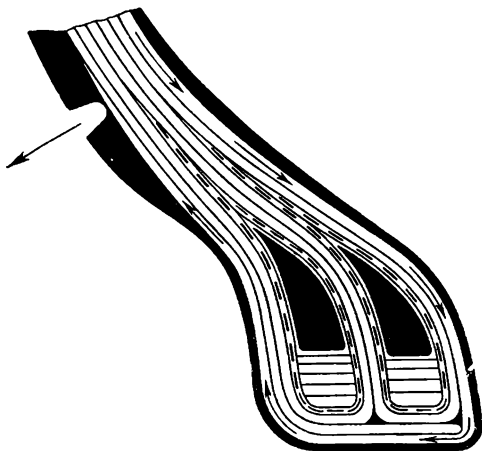


Рис. 154. Схема борта бескамерной шины.

браслетах собираются в ступеньками, чтобы обеспечить плавность очертания борта. На рис. 153, б изображена схема борта, обеспечивающая лучшее закрепление слоев. Здесь на барабан сначала надеваются первый и второй браслеты, причем на крыло заворачивается только второй браслет. Вслед за этим надевают третий браслет, заворачиваемый на второе крыло, и четвертый браслет, заворачиваемый внутрь. Затем первый браслет заворачивается на оба крыла и надевается последний, пятый браслет. Недостатком схемы борта, показанной на рис. 153, б, является снижение

производительности труда при сборке вследствие невозможности применения четырехслойных браслетов.

Обычно на каждом заводе в соответствии с используемыми материалами и технологическим процессом производства применяются свои стандартные схемы борта.

В бескамерных шинах схема борта выбирается таким образом, чтобы предупредить возможность проникновения воздуха из внутренней полости шины в борт по нитям корда, особенно в случае дефектности герметизирующего слоя. Для этого (рис. 154) первый слой каркаса выводится наружу на бортовую часть шины. По нитям этого слоя происходит отвод воздуха, прошедшего через герметизирующий слой. Воздух выходит через специальные дренажные отверстия в покровной резине.

При вычерчивании бортовой части шины учитывается пресовка борта по ширине 15—20% от толщины сырых кордных слоев и пресовка части борта над кольцами, достигающая 25—35%.

Высота заворотов слоев корда и размеры наполнительного шнура* выбираются таким образом, чтобы получить плавное очертание борта покрышки. Кромки наиболее широких слоев покрышки доводятся до уровня, находящегося на расстоянии 0,3—0,5 высоты профиля шины от обода. Кромки остальных слоев в заворотах располагаются со ступеньками в пределах 5—20 мм. То же относится и к кромкам крыльевых и бортовых лент. Этим создается зона усиления борта, желательная конфигурация которой представлена на рис. 155. После того как прочерчена конфигурация бортовой части покрышки, следует уточнить положение точки обода. Если эта точка существенно сместилась по сравнению с принятым для предварительного расчета положением, нужно снова определить размеры R и r_0 покрышки, исходя из нового положения точки обода.

Вслед за этим целесообразно прочертить весь внутренний контур надутой покрышки. Это проще всего сделать, перенеся в соответствующем масштабе равновесный профиль с номограммы. С этой целью на номограмме равновесных конфигураций (см. Приложение, стр. 355—360) для выбранного угла по экватору β_k выделяется кривая $\lambda_0 = \frac{r_0}{R}$, соответствующая проектируемому профилю, и переносится на чертеж покрышки в масштабе $\frac{R}{OA}$, где OA —длина горизонтальной оси номограммы (см. рис. 66, стр. 76). Построенная таким образом кривая должна пройти через точку обода; небольшие невязки, связанные с неточностью расчетов и графического построения, выправляются на глаз. Затем на внутреннем контуре каркаса изображается стенка каркаса, брекер и протектор.

На чертеже надутой шины должны быть выдержаны лишь основные, характеризующие шину размеры каркаса, брекера и протектора, так как детальная разработка с точными размерами выполняется при составлении чертежа покрышки по вулканизационной форме.

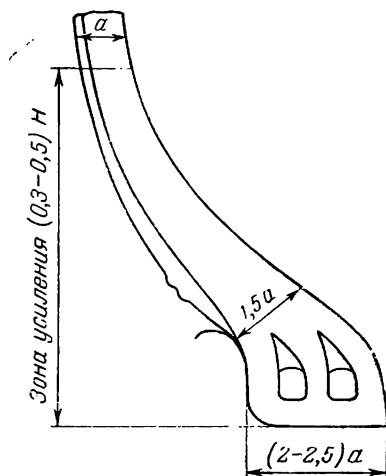


Рис. 155. Конфигурация зоны усиления борта.

* Крылья легковых шин выполняются иногда без наполнительного шнура.

При вычерчивании каркаса предусматривается наличие резиновых прослоек (сквиджей) по беговой части покрышки (см. табл. 9, стр. 194).

Брекер грузовых шин обычно состоит из двух слоев разреженного корда, подбрекерного и надбребкерного резиновых слоев. Общая толщина брекера составляет $5 \div 8$ мм.

Для легковых шин применяется брекер без подбребкерного резинового слоя, имеющий общую толщину $3 \div 5$ мм.

Легковые шины без тканевого брекера, выпускаемые некоторыми иностранными фирмами, даже при высокопрочном каркасе плохо сопротивляются механическим повреждениям. Такая конструкция в отечественной практике не применяется. Ширина самого узкого кордного слоя брекера принимается на 10—20 мм больше ширины беговой дорожки; остальные слои брекера делаются шире, со ступеньками 10—15 мм. Резиновые прослойки в верхних слоях каркаса делаются на 20—40 мм шире брекера, также со ступеньками.

При определении толщины каркаса и брекера по беговой части шины учитывается уменьшение толщины вследствие прессовки, которая в этой зоне достигает* $20 \div 30\%$.

Ориентировочно общую толщину каркаса и брекера по экватору можно оценить также, пользуясь данными, приведенными в табл. 10. Над бребкером на чертеже изображается протектор в соответствии с выбранными ранее его размерами (стр. 190). Этим и заканчивается построение профиля надутой шины.

РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ПОКРЫШКИ ПО ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ ПРЕССФОРМЕ j

Вслед за определением основных размеров надутой шины устанавливаются ее размеры по прессформе. В большинстве случаев профиль покрышки по вулканизационной прессформе выбирается таким образом, чтобы при надувке высота профиля шины уменьшалась на $2 \div 3\%$ при одновременном соответствующем увеличении ширины профиля.

Уменьшение наружного диаметра шины при надувке позволяет предупредить растяжение резины протектора под действием внутреннего давления и тем самым повысить сопротивление протектора истиранию, механическим повреждениям и образованию трещин в процессе эксплуатации шины.

Для камерных шин раствор бортов покрышки по прессформе обычно принимается на $10 \div 25$ мм меньше, чем ширина обода колеса. Благодаря этому достигается некоторое уменьшение высоты и общего веса прессформы. Раствор бортов по прессформе бескамерных шин принимается равным ширине обода, так как в про-

* Прессовка может быть также рассчитана по формуле (11).

тивном случае трудно осуществить уплотнение по месту ее посадки на обод при первоначальной надувке шины.

Конфигурация покрышки по вулканизационной форме устанавливается так, чтобы при переходе к равновесной форме при надувке не было резких местных изменений кривизны профиля.

Выбранная конфигурация шины по вулканизационной прессформе должна обеспечивать получение заданных габаритных размеров надутой шины. Это проверяется путем расчета изменения размеров шины при надувке в соответствии с методом, изложенным в гл. II (стр. 80 и 88).

Такой расчет целесообразно проводить после разработки чертежа распределения материалов в вулканизированной покрышке по вулканизационной форме.

При предварительном расчете можно исходить из того, чтобы длина нити корда первого слоя надутой покрышки и покрышки по форме была одинаковой (для шин из вискозного корда) или (при полиамидном корде) отличалась в $(1 + \tilde{\epsilon})$ раз, где $\tilde{\epsilon}$ — среднее удлинение нити корда при рабочем давлении в шине.

Способы расчета величины $\tilde{\epsilon}$ и длины нитей приведены в гл. II на стр. 52 и 89.

Обычно ширина профиля шины по прессформе на 5—12% меньше ширины профиля надутой шины (большие значения относятся к шинам, имеющим в форме раствор бортов меньший, чем на ободе).

Чертеж распределения материалов в вулканизированной покрышке отличается от схематического чертежа профиля надутой шины не только измененными габаритными размерами, но также более тщательной разработкой наружной конфигурации покрышки и ее деталей.

Посадочная часть покрышки очерчивается в зависимости от типа шины и обода, на который она монтируется.

Для шин, монтируемых на плоский обод, посадочный диаметр принимается на 1,5 мм больше номинального диаметра обода; зазор в этом случае нужен для облегчения монтажа шины на обод. Для шин, монтируемых на уширенный обод с коническими полками, посадочный диаметр принимается также на 1,5 мм больше номинального, но в этом случае по пятке борта получается натяг 4,8 мм на диаметр, обеспечивающий плотную посадку борта. Для бескамерных грузовых шин натяг по посадочному диаметру принимается 2,5 мм, а для бескамерных легковых шин $1,2 \div 1,5$ мм. Схемы построения профиля борта покрышки для различных случаев приведены на рис. 156.

Боковина обычно очерчивается двумя дугами радиусов R_6 и R'_6 , величина которых принимается в пределах $(0,6 \div 1,0)$ от ширины профиля B_ϕ (см. рис. 157). Центры этих дуг расположены

на оси $A-A$, положение которой определяется отношением $\frac{H_1}{H_2}$.

Обычно отношение $\frac{H_1}{H_2}$ принимают равным $1,05 \div 1,25$ для грузовых шин с дорожным рисунком протектора и $1,10 \div 1,20$ —для грузовых шин с рисунком протектора повышенной проходимости и для легковых шин.

Радиус R_6 подбирается графически в соответствии с положением края беговой дорожки.

Профиль нижней части боковины должен сопрягаться с профилем обода таким образом, чтобы надбортовая часть покрышки сохраняла достаточную гибкость, но не имела бы чрезмерной деформации под действием радиальной и боковой нагрузки.

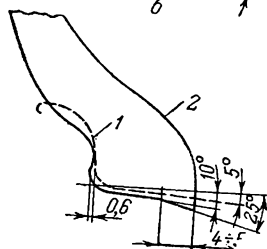
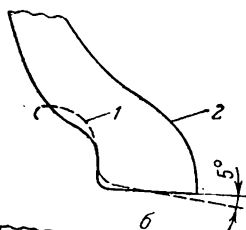
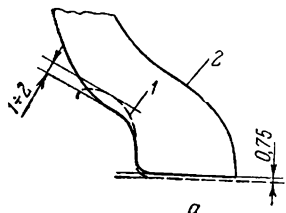


Рис. 156. Построение профиля борта автомобильной покрышки: а—борт грузовой шины на плоском ободе; б—борт грузовой шины на ободе с коническими полками; в—борт легкой бескамерной шины на глубоком ободе. 1—профиль обода; 2—профиль борта.

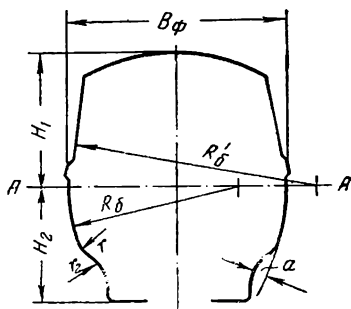


Рис. 157. Основные размеры профиля боковины покрышки по прессформе:

B_ϕ —ширина профиля; H_1 и H_2 —высота верхней и нижней части профиля; R'_6 и R_6 —радиусы кривизны верхней и нижней части боковины; r_2 —радиус кривизны верхней части борта; r —радиус сопряжения; a —величина зазора между дугами радиусов R_6 и r_2 .

Для этого радиус R_6 подбирается таким образом, чтобы дуга нижней части профиля боковины пересекала дугу, очерчивающую верхнюю часть профиля борта радиусом r_2 , и величина максимального зазора между этими дугами a лежала в пределах 20—30% от r_2 .

Дуга нижней части профиля боковины и дуга верхней части профиля борта сопрягаются дополнительной дугой радиуса r , величина которого берется в пределах $(1,5 \div 3,0) r_2$.

На боковине предусматривается усиливающий поясок 1 (рис. 158), повышающий сопротивление боковины механическим повреждениям при столкновении шины с высокими препятствиями или при езде по глубокой колее. Поясок имеет обычно ширину $m=(10\div 20)$ мм и толщину $s_1=(1,0\div 2,5)$ мм. Размеры пояска тем больше, чем больше ширина профиля шины.

В нижней части боковины, по месту утолщения покровной резины (по подушке) на расстоянии $l=5\div 15$ мм от закраины обода, обычно предусматриваются 1—3 центрирующие риски, каждая шириной $m_1=(1\div 3)$ мм и высотой $s=(0,5\div 1)$ мм (см. рис. 158). Центрирующие риски помогают проверять правильность посадки борта при

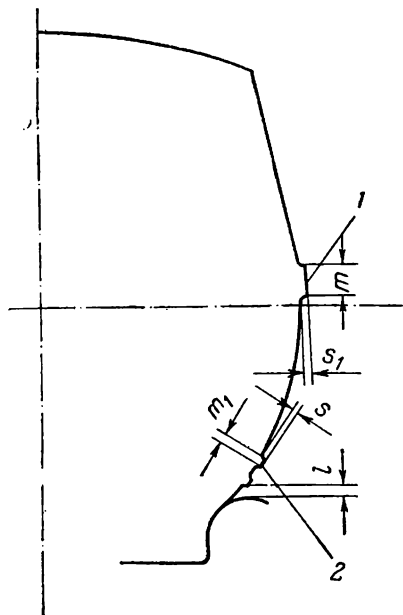


Рис. 158. Элементы очертания боковины:

1—поясок; 2—центрирующая риска.

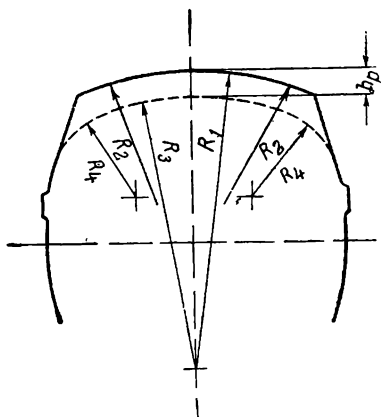


Рис. 159. Глубина рисунка в различных зонах.

монтаже шины на обод. Поясок и центрирующие риски также необходимы для устранения дефектов «недопрессовка» и «трещины» на боковине при вулканизации покрышек.

Изменение глубины рисунка по ширине беговой дорожки определяется линией построения, состоящей из трех плавно сопрягающихся дуг окружности (см. радиусы R_3 и R_4 на рис. 159). Эти дуги проводятся таким образом, чтобы получить изменение глубины рисунка и толщины подканавочного слоя, предусмотренное для надутой шины.

Наибольшую сложность представляет конструирование рисунка протектора.

Рисунок одного и того же типа практически выполняется в многочисленных вариантах. При этом изменение обычно приводит к изменению работоспособности шины.

Оригинальную конструкцию рисунка отрабатывают на протяжении ряда лет, усвершенствуя ее от модели к модели, а также видоизменяя ее в соответствии с результатами эксплуатации.

При проектировании обычно требуется сопоставить рисунок протектора проектируемой шины с рисунками протектора шин существующих конструкций.

Характеристиками, по которым проводится такое сравнение, наряду с глубиной рисунка является отношение площади выступов рисунка к общей площади беговой дорожки (насыщенность рисунка), отношение шага рисунка к ширине беговой дорожки, а также размеры выступов и канавок рисунка, которые относятся обычно к глубине рисунка протектора. Пределы изменения указанных характеристик для выпускаемых в настоящее время шин разных типов приведены в табл. 11.

Таблица 11

Характеристики рисунков протектора существующих шин

Наименование	Грузовые шины			Легковые шины	
	Тип рисунка				
	дорожный	универсальный	повышенной проходимости	дорожный	повышенной проходимости
Площадь выступов, %	60—80	50—70	40—60	60—80	45—60
Отношение шага к ширине беговой дорожки	0,2—0,5	0,4—1,1	0,4—1,5	0,1—0,5	0,4—1,1
Отношение ширины выступа к глубине рисунка	1,2—3	1,5—3	1,5—3	0,8—2,5	1,5—3
Отношение ширины выступа к ширине канавки	2—5	2—5	0,5—4	2—4	0,8—3
Отношение ширины канавки к глубине рисунка	0,5—0,8	0,3—3	0,5—4	0,2—0,6	0,5—3
Угол наклона стенки канавки, градусы	0,5—6	0,5—20	5—30	0,5—6	3—20

Примечание. Данные приведены для рисунков стандартной глубины.

Вместе с глубиной рисунка площадь выступов характеризует количество резины протектора, истирающейся в процессе эксплуатации, т. е. является характеристикой износостойкости протектора. От величины площади выступов зависит также величина удельного давления по площади контакта шины с дорогой.

На чертеже обычно представляется развертка рисунка протектора на плоскость. Для построения рисунка протектора окруж-

ность беговой дорожки по середине и по краю разбивается на целое число одинаковых повторяющихся по окружности беговой дорожки элементов рисунка—шагов (рис. 160).

Величина шага рисунка протектора t по середине беговой дорожки определяется выражением

$$t_c = \frac{\pi D}{n}$$

где n —число шагов рисунка по окружности беговой дорожки покрышки, D —наружный диаметр проектируемой покрышки по прессформе.

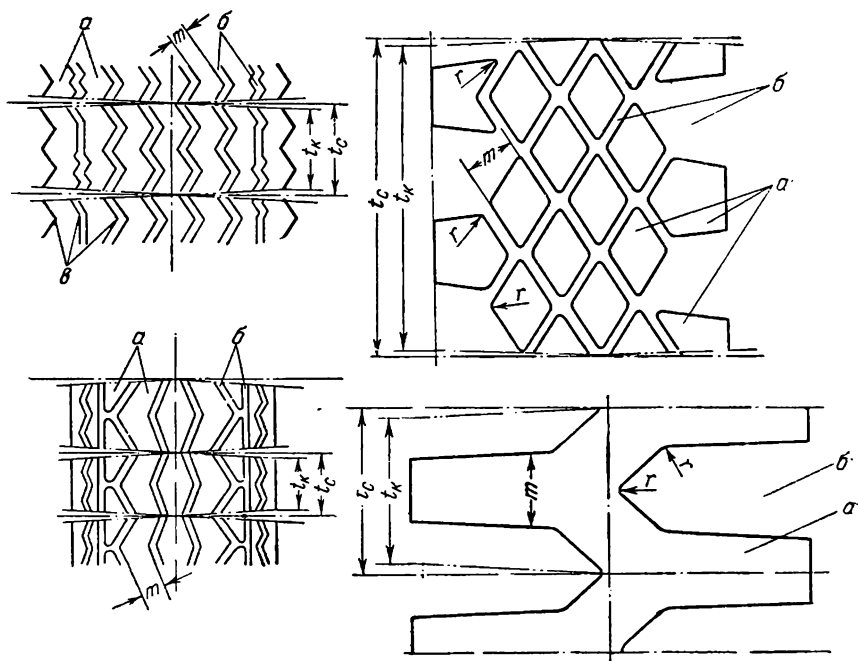


Рис. 160. Развертки рисунков протектора:

a —выступы; b —канавки; θ —углы выступов и канавок в плане; t_c —шаг рисунка по середине беговой дорожки; t_k —шаг рисунка по краю беговой дорожки; m —ширина выступа; r —радиусы закругления выступов и канавок в плане.

Так как число шагов зависит от наружного диаметра шины, то оно не характеризует геометрию рисунка. При сравнении различных рисунков следует пользоваться отношением шага рисунка к ширине беговой дорожки, непосредственно связанной с размерами элементов рисунка протектора.

Рисунки легковых шин для бесшумности делают с переменным шагом. Применяют 3—4 шага разной длины, которые чере-

дуются без какого-либо порядка по окружности беговой дорожки (рис. 161). Отсутствие порядка в чередовании шагов предупреждает появление резонансных звуковых колебаний при эксплуатационных скоростях.

Разница в величинах максимального и минимального шага принимается в пределах 20—50%.

Значительно снижает шум ликвидация поперечных канавок, однако и при одних зигзагообразных продольных канавках шум полностью не исключается.

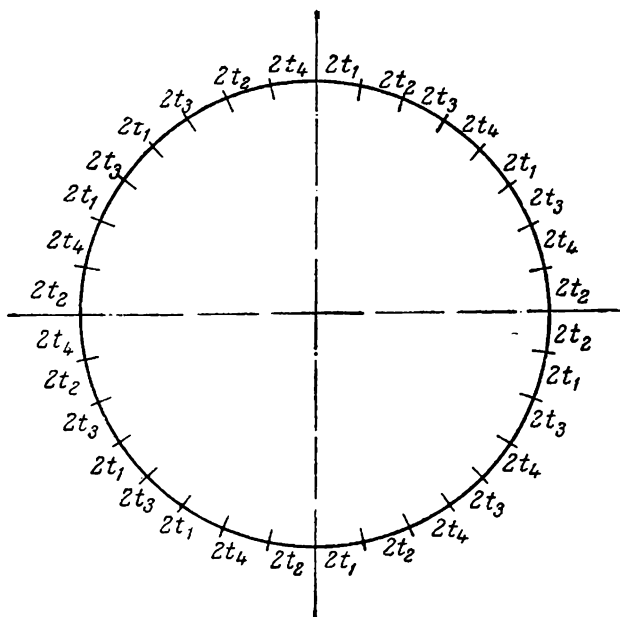


Рис. 161. Пример чередования шагов по окружности покрышки с переменным шагом рисунка протектора.

Главным размером выступов рисунка протектора в плане является ширина выступа m (см. рис. 160); чем она меньше, тем лучше теплоотвод из массива выступа, тем меньше жесткость протектора. Однако при отношении ширины выступа к глубине рисунка меньше двух ($\frac{m}{n_p} < 2$) возникает возможность выкрашивания резины по углам изолированных выступов, особенно около края беговой дорожки и около широких канавок рисунка.

Канавки между выступами рисунка делятся на три вида: а) канавки, применяющиеся в рисунке повышенной проходимости и универсальном рисунке,—для повышения сцепления на рыхлом

грунте, имеют ширину в пределах 150—400% от глубины рисунка; б) канавки, применяющиеся в универсальном и дорожном рисунках,—для обеспечения сцепления на грязной дороге с твердым покрытием, имеют ширину в пределах 30—80% от глубины рисунка; в) щелевидные канавки шириной 0,5—2 мм, применяющиеся в дорожном и иногда в универсальном рисунках,—для обеспечения сцепления на мокрой дороге с твердым покрытием. Кроме канавок, в рисунке протектора иногда предусматриваются надрезы по выступам. Щелевидные канавки и надрезы расширяются под действием сил трения в зоне контакта с дорогой при возникновении проскальзывания на мокрой дороге с твердым покрытием (рис. 162).

Число и ширина канавок зависят от требований к износостойкости шины и к ее сцеплению с дорогой; чем шире канавки и больше их число, тем выше сцепление шины с дорогой, но ниже



Рис. 162. Работа протектора со щелевидными канавками:
а—при отсутствии касательной силы; б—при наличии касательной силы.

износостойкость протектора. Увеличение ширины канавок также улучшает их самоочищаемость, уменьшает возможность застревания в канавках камешков, а также уменьшает образование трещин по дну канавок. Канавки, направленные в плане перпендикулярно к направлению нитей корда в каркасе, обеспечивают максимальную гибкость протектора шины, давая возможность снизить напряжения сдвига в межслойной резине и напряжения растяжения и сжатия в нитях корда, возникающие при изгибе участков каркаса в беговой части шины.

Во избежание образования и разрастания трещин щелевидные канавки и надрезы делаются в плане искривленными (рис. 163). Очертания выступов рисунка протектора делаются угловатыми, если шина предназначена для усовершенствованных дорог с твердым покрытием. В этом случае углы выступов повышают сцепление с дорогой.

В шинах, предназначенных для грязных и грунтовых дорог, углы выступов рисунка протектора делают скругленными с целью повышения самоочищаемости рисунка.

Стенки канавок обычно делаются наклонными для облегчения выемки покрышки из прессформы и для улучшения самоочищаемости канавок (рис. 164). Угол α наклона стенок канавок для

дорожного рисунка принимается в пределах $0,5-6^\circ$ и для рисунков повышенной проходимости—в пределах $15-30^\circ$.

Переход от стенок ко дну канавок скругляется для уменьшения концентраций напряжений при изгибе беговой дорожки и для предупреждения образования трещин по канавкам протектора.

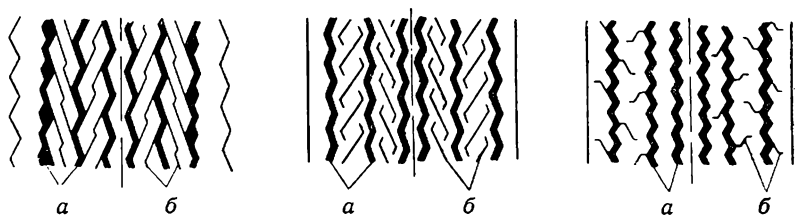


Рис. 163. Рисунки протектора с искривленными щелевидными канавками: а—нормальные канавки; б—щелевидные канавки.

Скругление выполняется дугой максимально возможного радиуса. На боковых стенках канавки по краю беговой дорожки легковых шин с дорожным рисунком часто делаются различного

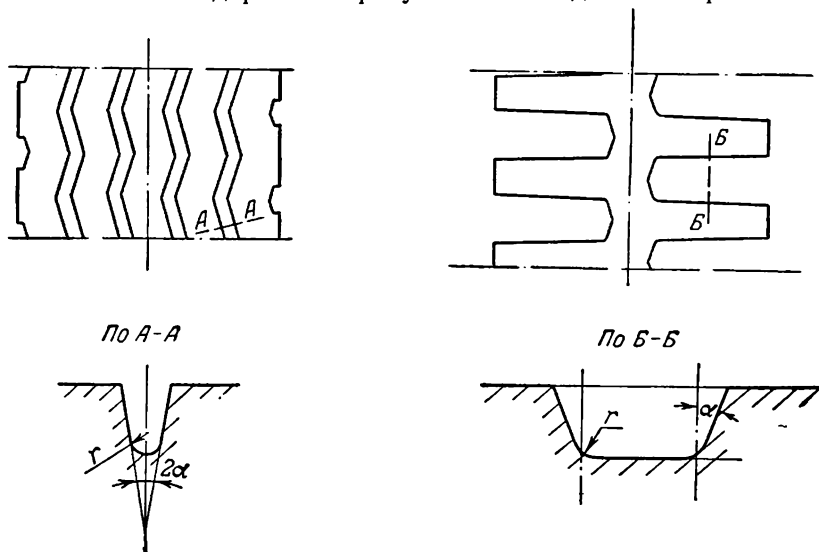


Рис. 164. Профиль канавки рисунка протектора: α —угол наклона стенок канавки; r —радиус закругления по дну канавки.

рода выступы или местное уменьшение ширины канавки (рис. 165), противодействующие сужению канавок, что повышает сцепление шины с дорогой, снижает шум на поворотах, а также замедляет образование трещин по дну канавок. Для борьбы с образованием трещин, в канавках иногда предусматриваются полумостики

(рис. 166), т. е. местные уменьшения глубины канавки. Следует, однако, признать более целесообразным средством борьбы с трещинами соответствующий выбор толщины подканавочного слоя и рецептуры протекторной резины.

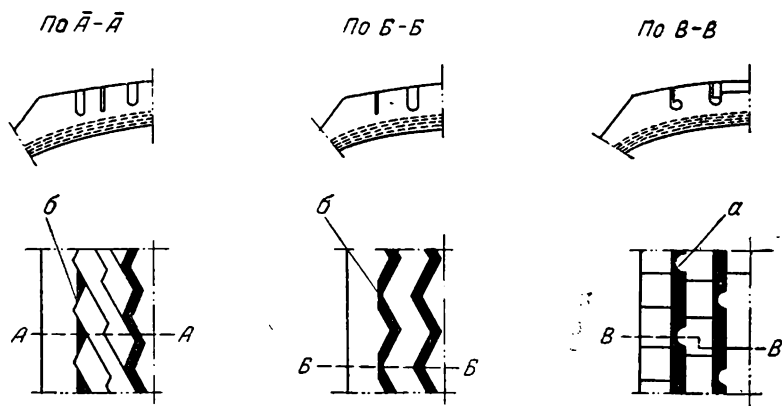


Рис. 165. Элементы, ограничивающие сужение канавок рисунка протектора: а—выступы; б—местные сужения канавки.

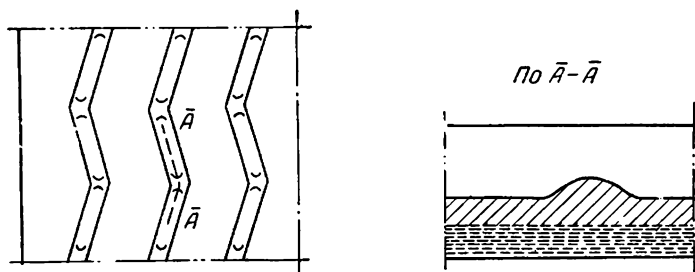


Рис. 166. Полумостики в канавках рисунка протектора.

РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ПОКРЫШКЕ И СОСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ

Чертеж распределения материалов является основой для составления спецификации покрышки—документа, определяющего размеры и материалы заготовок деталей покрышки.

Этот чертеж состоит из двух частей: распределение материалов в вулканизированной покрышке и распределение материалов в сырой покрышке на сборочном барабане.

На чертеже распределения материалов в вулканизированной покрышке изображаются наружный контур профиля покрышки (по вулканизационной форме), внутренний его контур, а также

все детали покрышки. При нанесении на чертеж слоев каркаса и брекера учитываются их прессовки. Соображения по выбору толщин деталей покрышки и их прессовок приведены выше. На чертеж наносятся желательные положения заворотов кордных слоев в соответствии с принятой схемой борта, наполнительные шнуры в крыльях, обертка крыла, крыльевые и бортовые ленты и другие детали покрышки.

На основании распределения материалов в вулканизованной покрышке изображается чертеж распределения материалов в сырой покрышке, находящейся на сборочном барабане.

С этой целью в зависимости от числа колец в борте выбирается тип сборочного барабана (при одном кольце—полуплоский, при двух-трех—полудорновый) и устанавливается его диаметр. Обычно используются сборочные барабаны, имеющиеся в производстве. При необходимости проектирования нового барабана его размеры выбираются в соответствии с указаниями, изложенными в разделе «Построение профиля сборочного барабана» (стр. 224).

Угол нити корда на барабане α_6 определяется из равенства (см. гл. II, стр. 49)

$$\sin \alpha_6 = \frac{r_6}{R} (1 + \delta_1) \sin \beta_k$$

где δ_1 —коэффициент условной вытяжки нити корда, учитывающий удлинение нити в процессе формования и вулканизации покрышки, равный отношению расчетной длины нити в покрышке к длине нити в заготовке слоя корда без единицы.

Коэффициент условной вытяжки принимается в пределах от 0,02 до 0,08 в зависимости от природы волокна корда и от условий производства (состояние нитей в обрешинном корде, плотность заделки бортов при сборке шин и т. п.).

Вытяжка задается с целью создания равномерного натяжения нитей корда в слоях покрышки. Величина коэффициента условной вытяжки устанавливается на основе практического опыта. При заниженном коэффициенте δ_1 возникает извилистость нитей корда в каркасе, а при завышенном коэффициенте возникают дефекты борта покрышки (смещение бортовых колец, уводы кромок слоев корда и др.).

Раздвиг барабана определяется исходя из того условия, что длина нити первого слоя корда в покрышке, находящейся в вулканизационной форме от экватора до носка, равна соответствующей длине нити на барабане, умноженной на $(1 + \delta_1)$.

Расчет раздвига барабана включает следующие этапы: а) определение длины нити в покрышке; б) определение длины нити на заплечике сборочного барабана; в) определение раздвига барабана.

Длина нити первого слоя корда L в вулканизованной покрышке определяется исходя из чертежа распределения материалов в вул-

канизованной покрышке. Порядок расчета длины нити рассмотрен в гл. II (стр. 91).

Внутренний контур профиля на чертеже вулканизованной покрышки разбивается от экватора до носка борта на участки $\Delta s = 10 \div 20$ мм (рис. 167), вычисляются углы нитей корда в серединах участков и находится полная длина нити по формуле

$$L = \Delta s \sum_i \frac{1}{\cos \beta_i}$$

Длина нити корда на заплечике (криволинейной части) барабана (рис. 168) подсчитывается по формуле

$$L_A = \frac{s_a}{\cos \beta_{cp}}$$

где s_a —длина профиля заплечика, а β_{cp} —угол нити корда в точке, делящей эту длину пополам.

Учитывая, что длина нити корда $L_{ц}$ на цилиндрической части барабана составляет

$$L_{ц} = (Z - 2K) \frac{1}{\cos \alpha_6}$$

(где Z —раздвиг барабана, K —ширина заплечика) найдем полную длину нити на барабане:

$$L_0 = (Z - 2K) \frac{1}{\cos \alpha_6} + 2L_A$$

Приравнявая

$$L_0 (1 + \delta_1) = 2L$$

(где L —длина нити от экватора до носка борта в вулканизованной покрышке), получим следующую формулу для определения раздвига Z барабана:

$$Z = \frac{2L}{1 + \delta_1} \cos \alpha_6 - 2L_A \cos \alpha_6 + 2K$$

После определения раздвига барабана вычерчивается профиль барабана, на профиль переносятся участки Δs , на которые разбит контур внутреннего профиля покрышки на чертеже распределения материалов в вулканизованной покрышке. При этом ширина b_i каждого участка на барабане определяется равенством

$$b_i = \frac{\Delta s}{1 + \delta_1} \cdot \frac{\cos \alpha_i}{\cos \beta_i}$$

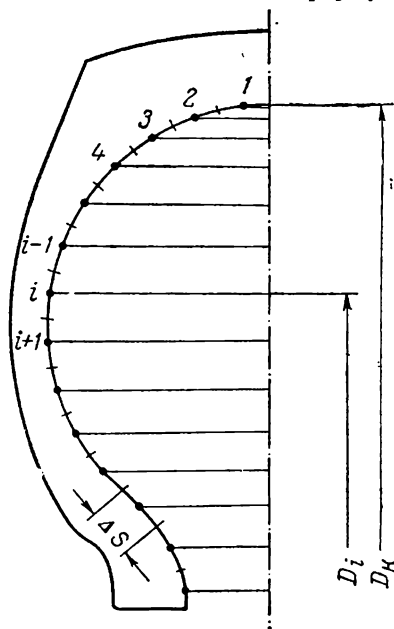


Рис. 167. К расчету длины нити в вулканизованной покрышке:

1; 2; 3 . . . $i-1, i, i+1, . . .$ — номера участков внутреннего контура покрышки;
 Δs —ширина участка контура покрышки;
 D_K —диаметр экватора; D_i —средний диаметр участка i .

где α_i —угол наклона нитей на данном участке барабана, β_i —угол наклона нитей того же участка в покрышке.

В точках, разграничивающих участки b_i на барабане, восстанавливаются перпендикуляры к линии контура барабана. На перпендикулярах откладывается суммарная толщина каркаса и бре-

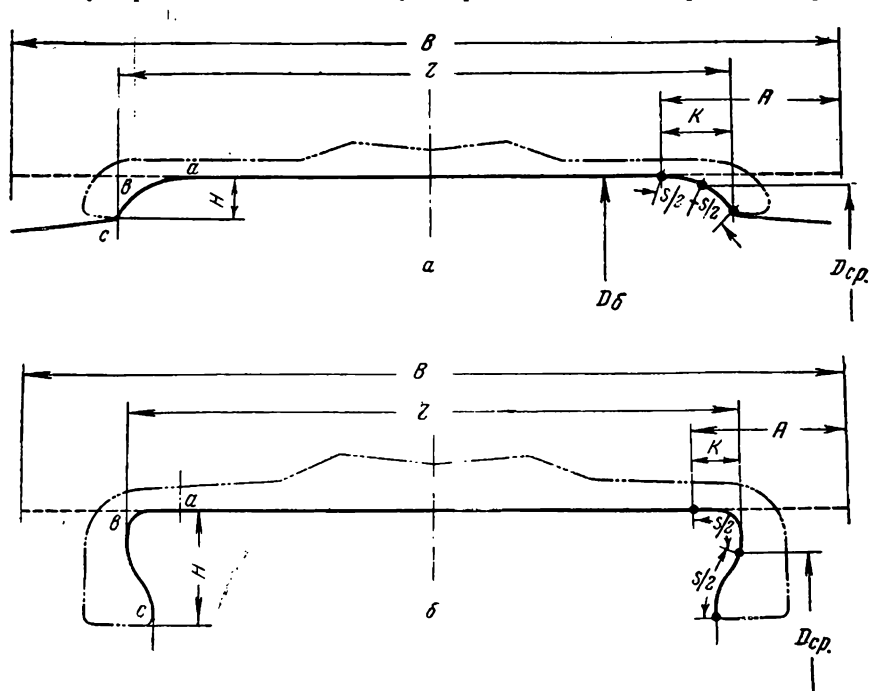


Рис. 168. К расчету раздвига сборочного барабана:

a —полуплоский барабан; $б$ —полудорновый барабан; B —ширина первого слоя корда, наложенного на барабан; A —ширина участка первого слоя, соответствующая периметру участка $авс$ заплечика барабана; K —ширина участка заплечика барабана; Z —раздвиг барабана; H —высота заплечика барабана.

кера сырой покрышки, вычисленная по толщине вулканизированной покрышки в данном сечении и определенной величине прессовки слоев корда. Величина прессовки рассчитывается по формулам, приведенным в гл. II (стр. 53), или принимается по практическим данным для существующих шин, сходных с проектируемой по конструктивным параметрам и изготовленных из таких же корда и резины. При отсутствии таких данных можно исходить из средних значений прессовки, приведенных на рис. 169.

Профиль протектора на чертеже распределения материалов покрышки строят, откладывая толщину протектора по перпендикулярам по границам участков Δs , упомянутых выше. Толщина протектора в данной точке определяется из условия равенства

объема резины протектора сырой и вулканизованной покрывки в прилегающей к данной точке зоне согласно равенству

$$\delta_i t_{6i} b_i = V_i$$

где δ_i —толщина протектора в данной точке; t_{6i} —длина участка по окружности протектора, наложенного на барабан, соответствующая шагу рисунка в данной точке профиля шины; b_i —ширина участка, прилегающего к рассматриваемой точке; V_i —объем резины протектора соответствующего участка вулканизованной покрывки с вычетом объема канавок. Длина участка определяется соотношением

$$t_{6i} = t_i \frac{D_6}{D_i}$$

где t_i —длина шага рисунка в данной точке профиля шины;

D_6 —диаметр сборочного барабана;

D_i —диаметр по середине участка Δs внутреннего контура профиля вулканизованной покрывки в данной точке.

После того как по рассчитанным толщинам участков построен ориентировочный профиль протектора, он корректируется таким образом, чтобы профиль был достаточно плавным. При этом учитывается нежелательность значительных перетеканий резины протектора в зоне беговой дорожки. Корректировка проводится так, чтобы общий объем резины не менялся.

Длины заготовок слоев при послойной сборке принимаются на 1—3% меньшими, чем длины соответствующих окружностей на барабане (с учетом вытяжки слоев при накладывании на бара-

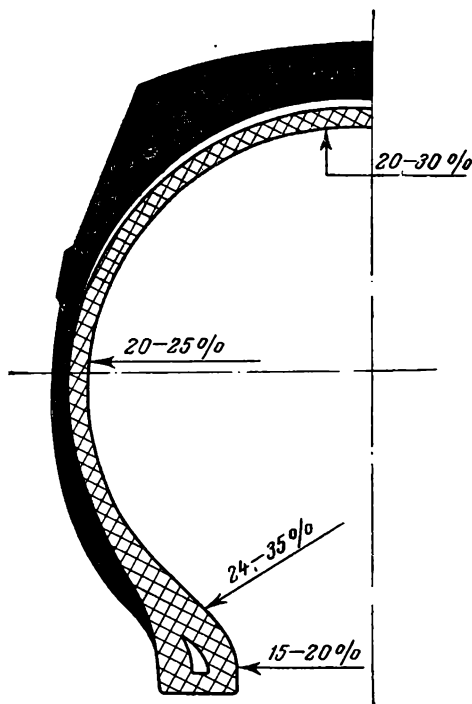


Рис. 169. Средние значения прессовки в различных зонах шины (прессовка по ширине борта относится только к кордным слоям—размер колец при вулканизации не изменяется).

бан). При браслетной сборке вытяжка браслетов по длине принимается в пределах 3—10%.

Приняв определенный процент вытяжки слоев или браслетов, можно затем определить угол закроя α_0 по уравнению

$$\sin \alpha_0 = \frac{\sin \alpha_6}{1 + \frac{e}{100}}$$

где e —вытяжка по длине в процентах, α_6 —угол нити корда на барабане.

Ширина слоев и другие размеры заготовок деталей, необходимые для составления спецификации, берутся с чертежа распределения материалов, причем учитывается, что ширина каждого участка в закрое больше, чем на барабане, в отношении

$$\frac{b_0}{b_6} = \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_6}$$

где α_0 —угол закроя, α_6 —угол нити на барабане.

В качестве примера на рис. 170 приведен чертеж распределения материалов одной из грузовых покрышек.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЕЗДОВОЙ КАМЕРЫ

Размеры камеры определяются с таким расчетом, чтобы камера в шине имела минимальную вытяжку при надувке, но при монтаже и в результате изнашивания при эксплуатации стенки камеры не образовывали складок. Увеличение вытяжки снижает сопротивление камеры старению, механическим повреждениям, разрывам и другим видам разрушения; при отсутствии вытяжки возникают складки. Исходными для конструирования камеры являются размеры надутой шины. Расчет камеры изложен в гл. II (стр. 169). Наружный диаметр камеры принимается на 3—5% меньше диаметра покрышки по первому слою.

Для шин, монтируемых на плоские обода, диаметр камеры по бандажной части принимается больше соответствующего диаметра ободной ленты на 4—6%. Для шин, монтируемых на глубокие обода, диаметр камеры по бандажной части принимается на 2—5 мм больше посадочного диаметра покрышки. В последнем случае разница между диаметром седла обода и внутренним диаметром покрышки может достигать 12%.

Профиль камеры обычно проектируется в виде окружности, длина которой меньше соответствующего периметра профиля покрышки и ободной ленты (или седла обода для глубокого обода) на 12—18%. Более высокие значения вытяжки камеры по профилю выбираются в случае глубокого обода и прочных резин или при применении резин с большим остаточным удлинением.

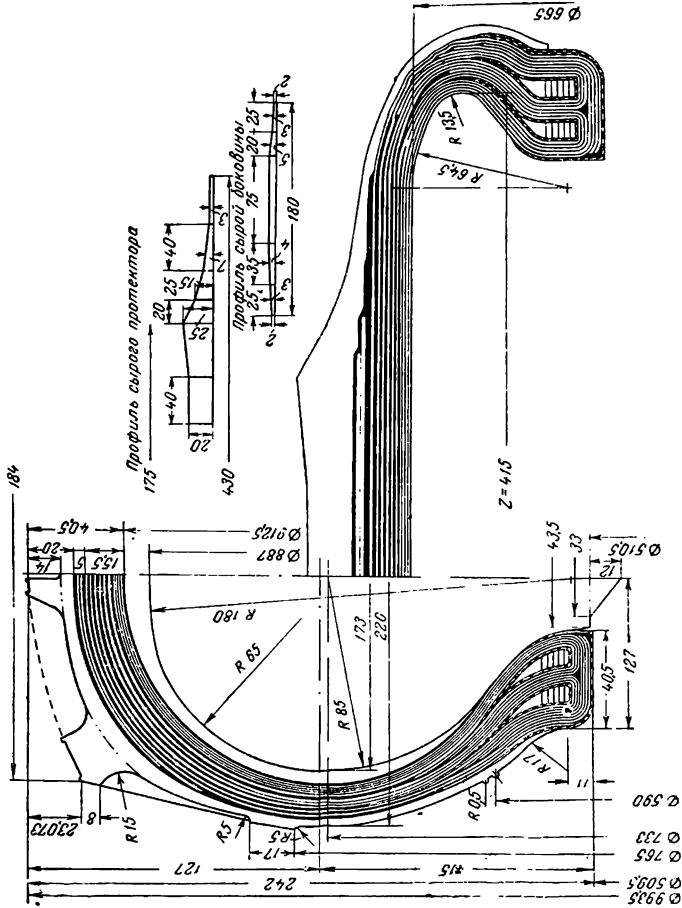


Рис. 170. Чертеж распределения материала автопокрышки.

Толщина стенки камеры выбирается такой, чтобы предупредить ее повреждение при монтаже шины на обод и при демонтаже. С увеличением толщины стенки камеры уменьшается ее газопроницаемость, уменьшается возможность образования складок и повышается сопротивление камеры механическим повреждениям при эксплуатации. Вместе с тем при увеличении толщины стенки камеры увеличивается количество тепла, образующегося в шине, и повышается стоимость шины. В практике толщина стенок камеры легковых шин лежит в пределах 1,5—2,5 мм, и тем больше, чем больше ширина профиля шины. Камеры для грузовых шин имеют толщину стенки в пределах от 2,5 до 5 мм. Толщины стенки камеры по беговой и по бандажной частям обычно различаются в пределах 0,5—1,0 мм. В практике предусматривают увеличенную толщину по беговой части при эксплуатации шины на неусовершенствованных дорогах. В камерах для шин, эксплуатируемых при повышенных скоростях, чаще предусматривают увеличенную толщину стенки по бандажной части, так как тепло, передающееся от тормоза колеса, способствует ускоренному старению резины камеры в этой зоне.

На поверхности камеры обычно предусматриваются выступающие риски высотой 0,2—0,5 мм и шириной 1,0—3,0 мм в радиальном направлении и реже—в окружном. Риски способствуют удалению воздуха, остающегося при монтаже между камерой и покрышкой или диффундирующего через стенку камеры. Воздух перемещается вдоль рисков и удаляется через вентиляное отверстие в ободе или через неплотные сопряжения деталей разборного обода. Риски способствуют также отводу воздуха из прессформы и тем самым лучшей отпрессовке поверхности стенок камеры в процессе вулканизации.

Тип вентиля для камеры выбирается в соответствии с конструкцией колеса и с учетом величины внутреннего давления в шине. Резино-металлический вентиль (см. рис. 7, стр. 15) применяется только при внутреннем давлении в шине, не превышающем 3 кгс/см^2 . Диаметр стебля резино-металлического вентиля делается на 0,5—0,8 мм больше диаметра отверстия в ободе во избежание образования трещин у его основания в эксплуатации. Для вывода воздуха, попадающего между ободом и камерой, вдоль стебля вентиля предусматриваются канавки глубиной 0,8—1,5 мм и шириной 1,5—2,0 мм.

При разборном ободе вентиль обычно имеет одно или два колена, длина и изгибы которых должны обеспечить свободный доступ к вентилю после того, как шина смонтирована на колесо, для надувки шины и контроля давления в шине. Вместе с тем вентиль в колесе должен располагаться таким образом, чтобы исключить его повреждения в эксплуатации.

При конструировании вентиля необходимо также учитывать стойкость деталей вентиля против коррозии, надежность крепе-

ния вентиля на стенке камеры и стандартизацию деталей вентиля. Во избежание повреждений фланцев вентиля кромками отверстия обода у металлического вентиля предусматривают мостик, прижимаемый к пятке вентиля гайкой, или шайбу, напрессовываемую на стембель вентиля.

При бескамерных шинах вентиль входит в комплект колеса, и он должен иметь детали, уплотняющие отверстие в обода,

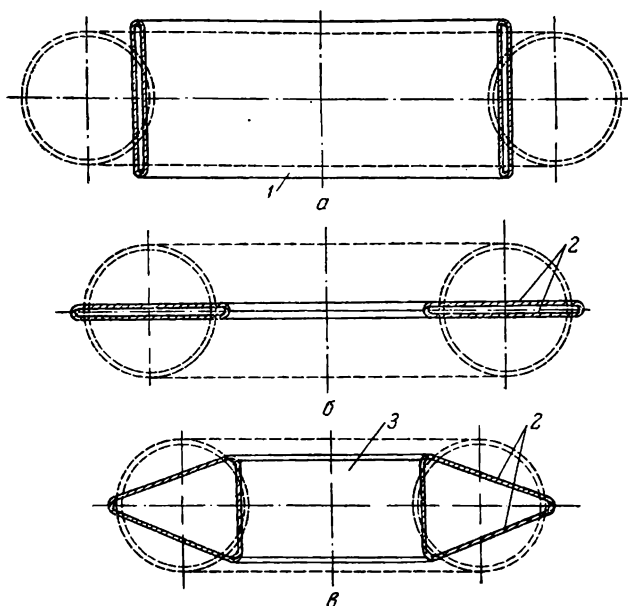


Рис. 171. Схемы изготовления ездовых камер:
 а—из рукава; б—из двух кольцевых заготовок; в—из трех частей.
 1—рукав, состыкованный в кольцо; 2—кольцевые заготовки; 3—сердечник.

Расчет спецификации камеры различен для различных способов изготовления камеры. При обычном способе изготовления камеры заготовкой служит рукав, стыкуемый перед формованием в кольцо (рис. 171, а). В сравнительно редких случаях по условиям производства или при большом отношении наружного диаметра камеры к посадочному ($\frac{D_n}{D_6} = 3 \div 4$) камера до формования клеится из заготовок в виде плоских колец, так называемый «дисковый закрой» (рис. 171, б).

При $\frac{D_n}{D_6} < 4$ камера клеится из двух заготовок—колец, при большем отношении $\frac{D_n}{D_6}$ и при увеличенной абсолютной ширине

профиля камеры последняя клеится из трех заготовок: двух колец и сердечника (рис. 171, в).

Обычно расчет спецификации камеры сводится к определению длины и ширины сырой заготовки—плоско сложенного рукава и толщины его стенок (рис. 172).

Длина рукава $L = \pi D_p$ задается с таким расчетом, чтобы при предварительной поддувке камеры на шаблоне и при последующем формовании камеры в вулканизационной форме длина окружности по бандажной части уменьшалась на 1—3%. При завышенной усадке по бандажной части камеры образуются поперечные складки, а при заниженной усадке затрудняется закладка сырой камеры в вулканизационную форму. Ширина рукава b_p принимается на 5—20% меньше, чем половина длины окружности $\frac{\pi d}{2}$ профиля камеры по прессформе. Вытяжка принимается тем большей, чем больше отношение $\frac{D_n}{D_6}$ наружного диаметра камеры к диаметру по бандажной части. С увеличением вытяжки по контуру профиля камеры происходит утонение стенки камеры по беговой части, но уменьшается возможность образования складок по бандажной части камер.

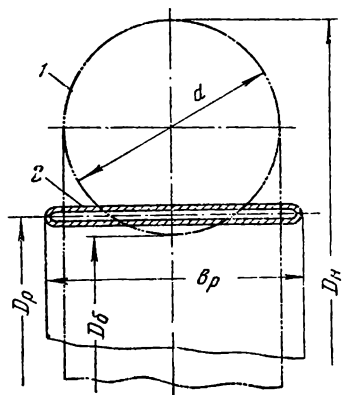


Рис. 172. К расчету размеров заготовки ездовой камеры:

1—профиль вулканизованной камеры;
2—профиль сырой заготовки, состыкованной в кольцо.

При «дисковом закрые», т. е. при изготовлении камеры из двух заготовок в виде плоских колец, наружный диаметр заготовки принимается равным (1,20÷1,50) D_n наружного диаметра готовой камеры, а диаметр отверстия заготовки принимается

равным (0,8÷0,9) D_6 (диаметра вулканизованной камеры по бандажной части). При этом вытяжка по периметру контура поперечного сечения принимается в пределах 10—20%. При изготовлении камеры из трех заготовок наружный диаметр кольца принимается равным (1,10÷1,20) D_n , а диаметр отверстия равным (1,05÷1,20) D_6 . Ширина сердечника определяется из расчета вытяжки камеры по периметру профиля в пределах 10—20%.

Толщина стенки сырой заготовки камеры рассчитывается по величине вытяжки в окружном и меридиональном направлениях исходя из толщины стенок вулканизованной камеры, заданной по проекту. Иногда в спецификации предусматривается усилительная ленточка шириной 10—20 мм и толщиной 0,5—1,5 мм на поперечный стык сырой камеры. Ленточка может быть из сырой резины или из обрезиненного разрезанного корда. Ленточка

ставится, когда резиновая смесь для камер обладает недостаточной прочностью и низкой клейкостью, в результате чего при отсутствии усилительной ленточки получается непрочный стык.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ОБОДНОЙ ЛЕНТЫ

Толщина ободной ленты по центру определяется по опытным данным и принимается тем большей, чем больше ширина профиля и выше внутреннее давление в шине.

Так, для шины с шириной профиля до 200 мм толщина ободной ленты принимается 3÷6 мм, а при ширине профиля шины 200—300 мм — 6÷10 мм. Меньшие значения толщины ленты принимаются, если резина обладает большой прочностью и сопротивлением старению. Для шин из металлокорда толщина обод-

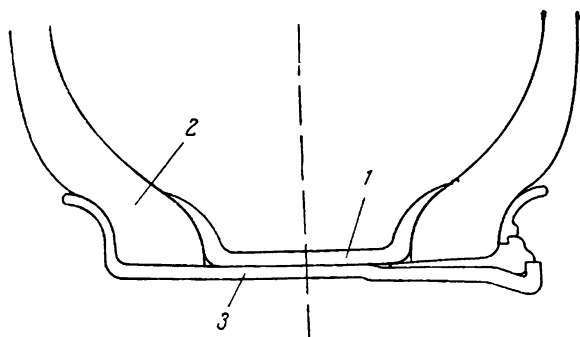


Рис. 173. Профиль ободной ленты:
1—ободная лента; 2—борта покрышки; 3—обод.

ной ленты увеличивается на 20—30%. Толщина кромки ленты принимается минимальной во избежание перетираания стенки ездовой камеры кромкой ленты.

Длина окружности ободной ленты по ее посадочной цилиндрической поверхности принимается на 15—30 мм больше длины окружности обода. Чрезмерное уменьшение длины окружности ободной ленты затрудняет перемещение ее вдоль цилиндрической части обода при монтаже шины на обод, а также препятствует центрированию ленты относительно бортов покрышки при надувании камеры. Чрезмерное увеличение длины ленты приводит к образованию поперечной складки на ленте.

Профиль ободной ленты (рис. 173) должен совпадать с контуром профиля прилегающих к ленте участков обода и бортов покрышки во избежание перегибов ленты в отдельных зонах, что вызывает образование трещин на ленте.

Длина сырой заготовки для ободной ленты берется на 2—6% короче длины окружности цилиндрической части вулканизован-

ной ленты, что обеспечивает плотную посадку заготовки в вулканизационную форму. Профиль заготовки ленты соответствует профилю вулканизованной ленты с разверткой его на цилиндрическую поверхность.

При изготовлении ободной ленты литьем заготовка имеет форму кольца, диаметр которого определяется размерами пресс-формы, а объем берется с учетом отходов на выпрессовки на 5—8% больше объема готовой ленты.

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ШИН

Конструирование деталей червячного пресса, профилирующих заготовки протектора, камеры и ободной ленты

Для профилирования заготовки протектора на червячном прессе проектируется специальная профилирующая пластинка (рис. 174). Величина просвета профилирующей пластинки в основных

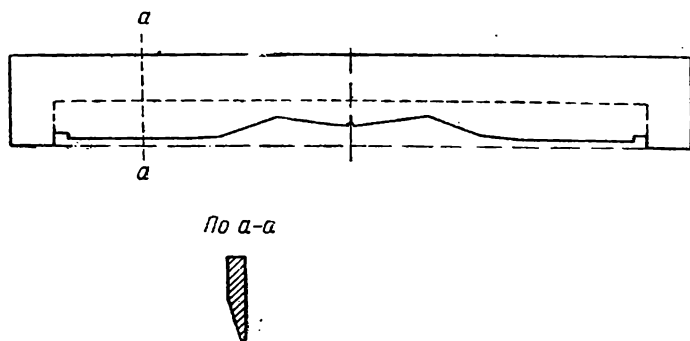


Рис. 174. Пластинка для профилирования заготовки протектора.

переходных точках профиля протектора (центр беговой дорожки, край беговой дорожки, кромки и др.) принимается меньшей, чем толщина протектора в соответствующих точках с учетом изменения размеров сырого протектора при выходе из головки пресса, при охлаждении и лежке. Величина усадки по толщине лежит обычно в пределах 20—50% и по ширине—в пределах 5—10%. Величина усадки сильно зависит от свойств резины, и она тем больше, чем меньше абсолютная толщина протектора в данной точке. При профилировании на разных червячных прессах величины усадок получаются заметно различными.

Край профилирующей пластинки имеет скос для обеспечения более гладкой поверхности заготовки.

По краям пластинки предусматриваются разгрузочные окна шириной 10—20 мм и высотой 10—25 мм, служащие для получения ровных кромок сырого протектора. В отдельных случаях по

производственным причинам (например, отсутствие специальной головки для червячного пресса, малый диаметр червяка и др.) профилирующее устройство имеет изогнутый контур просвета или замкнутый кольцеобразный просвет (рис. 175).

Профилирующая пластинка для выпуска на червячном прессе заготовок ободной ленты проектируется так же, как и пластинка для заготовок протектора. При этом величины усадок принимаются по практическим данным, полученным для данной резиновой смеси и для данного червячного пресса, по толщине—в пределах 10—20% и по ширине 5—10%.

Для выпуска на червячном прессе рукавов—сырых заготовок ездовых камер проектируются мундштук и дорн определенных размеров (рис. 176). Длина окружности профилирующего отверстия мундштука принимается меньше периметра профиля заготовки на 10—30% для компенсаций изменения размеров камеры.

Периметр профиля заготовки регулируют вытяжкой рукава на транспортере в пределах 10—20%.

Диаметр профилирующего ребра дорна принимается на 1—2 мм больше диаметра профилирующего отверстия мундштука. Толщина рукава регулируется осевым перемещением дорна относительно мундштука. Неравномерная по профилю толщина стенки рукава достигается, в случае необходимости, радиальным смещением мундштука относительно дорна. Однако и при центральном располо-

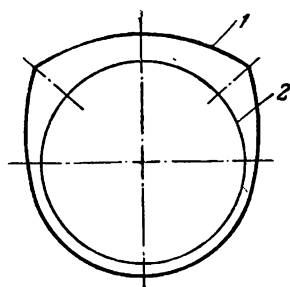


Рис. 175. Профиль заготовки протектора, выпускаемой через кольцеобразный просвет:
1—профиль мундштука; 2—профиль дорна.

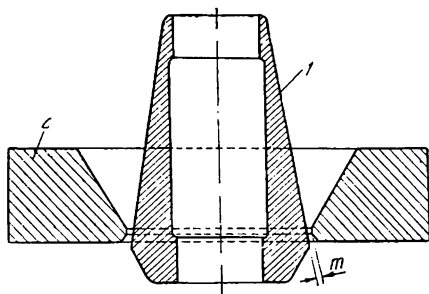


Рис. 176. Мундштук и дорн для профилирования заготовок ездовых камер:
1—дорн; 2—мундштук; *m*—профилирующий зазор.

жении дорна в мундштуке толщина стенок рукава может быть неравномерной в связи с влиянием, оказываемым на течение резины крестовиной дорнодержателя. Различного рода выемки в мундштуке или дорне, целью которых является уменьшить утонения стенки рукава от крестовины дорнодержателя, не дают полного эффекта, так как направление течения резиновой смеси в отдельных зонах окружности головки меняется и положение выемок оказывается несоответствующим цели.

Построение профиля сборочного барабана

Диаметр сборочного полуплоского барабана принимается на 40—60 мм больше, чем внутренний диаметр бортового кольца. При этом плечико барабана образует уступ, высота которого H достаточна для фиксации крыльев вдоль оси барабана при сборке (рис. 177, а, б).

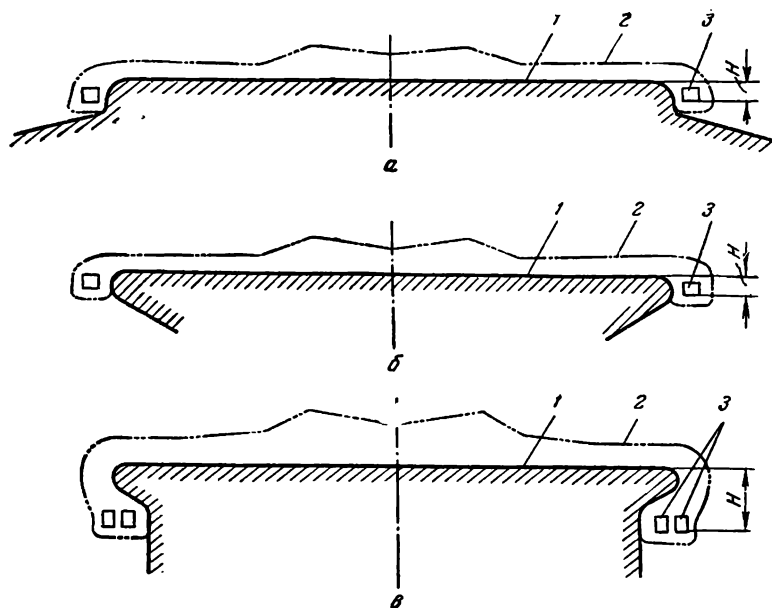


Рис. 177. Профили сборочных барабанов:
а и б—полуплоских; в—полудорнового; 1—профиль барабана; 2—профиль покрышки; 3—бортовое кольцо; H —высота фиксирующего уступа.

С увеличением диаметра барабана уменьшается вытяжка покрышки в окружном направлении при формовании, что облегчает операцию формования и способствует достижению однородности качества покрышек.

Однако при большом, в сравнении с диаметром колец, диаметре барабана затрудняется сборка борта, так как кромки слоев образуют складки при операции обжатия слоев по заплечикам.

Диаметр полудорнового барабана выбирается так, чтобы на его плечиках разместились завороты слоев шины. Если кромки слоев корда заходят на цилиндрическую часть барабана, то при формовании покрышки на кромках и в последних слоях корда образуются извилины. С другой стороны, диаметр барабана не должен быть слишком большим, чтобы при формовании покрышки

не происходило уплотнение нитей корда. Для этого радиус барабана r_6 должен удовлетворять неравенству

$$r_6 \sqrt{1 - \left[\frac{r_6}{R} (1 + \delta_1) \sin \beta_k \right]^2} \leq R \cos \beta_k$$

где R —радиус по экватору первого слоя в вулканизованной шине.

Высота плечиков (рис. 177, в) полудорновых барабанов лежит в пределах 60—150 мм в зависимости от числа слоев корда в покрышке.

При большом диаметре цилиндрической части барабана возникают трудности в конструировании механизма складывания барабана, обеспечивающего возможность съема собранной покрышки с барабана.

Профиль плечика полудорнового барабана строят таким образом, чтобы разность периметров участков по внешнему контуру и внутреннему контуру сырой покрышки на барабане была бы равна разнице периметров соответствующих участков вулканизованной покрышки, что регулируется глубиной поднутрения. Это необходимо для предупреждения образования складок наружных или внутренних слоев корда.

Конструирование варочной камеры

Наружный контур варочной камеры должен быть близок к внутреннему контуру поперечного сечения вулканизованной покрышки.

Наружный диаметр варочной камеры принимается на 1—6% меньше соответствующего диаметра по внутренней поверхности покрышки. Вытяжка камеры по контуру поперечного сечения принимается в пределах 3—8%. Эта вытяжка определяется по формуле

$$\delta_k = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100$$

где l —периметр внутреннего контура профиля покрышки от носка до носка борта (рис. 178), l_0 —периметр наружного профиля варочной камеры без учета ширины ее сердечника.

Для обеспечения долговечности вытяжка камеры должна быть минимальной, однако для компенсации остаточных деформаций камеры в процессе многократной вулканизации, а также для облегчения закладки камеры в сырую покрышку часто вытяжку приходится увеличивать.

При отношении наружного диаметра покрышки к посадочному большем 3÷4 закладка варочной камеры в покрышку представляет большие трудности. В этом случае, помимо принятия

вытяжки камеры на верхнем пределе, применяются варочные камеры с отъемным или иногда и с разъемным сердечником (рис. 179). Варочные камеры для пневмокатков конструируются

в виде тонкостенной оболочки без жесткой бандажной части (рис. 180).

Ширина сердечника варочной камеры m_c принимается на 2—3 мм меньше расстояния между носками бортов покрышки по прессформе с целью компенсации остаточных деформаций сердечника при повторных циклах вулканизации.

Бандажная поверхность сердечника варочной камеры делается по форме в виде конусов, образующие которых составляют с осью вращения угол 25° — 30° . Коническим поверхностям сердечника варочной камеры соответствуют конические поверхности на бортовых кольцах прессформы для вулканизации покрышек. Конические поверхности на бортовых кольцах прессформы облегчают закладку сырой покрышки в прессформу, так как борта покрышек садятся в прессформу с натягом. Конусность спо-

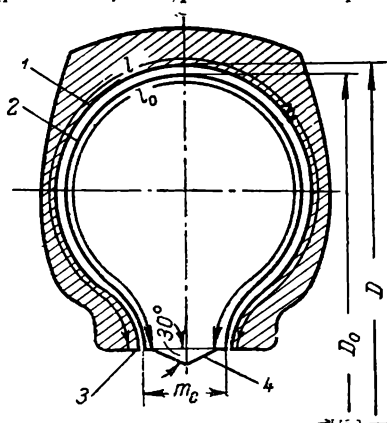


Рис. 178. Профиль варочной камеры в покрышке:

1—внутренний контур профиля покрышки («по первому слою»); 2—контур профиля варочной камеры; 3—носик борта покрышки; 4—сердечник варочной камеры.

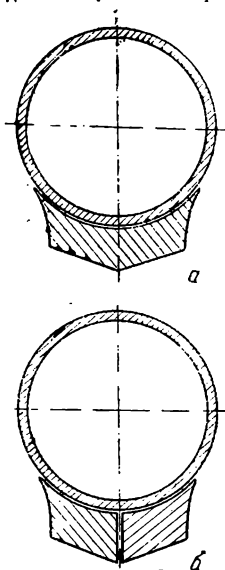


Рис. 179. Профили варочных камер:

а—с отъемным; б—с разъемным сердечником.

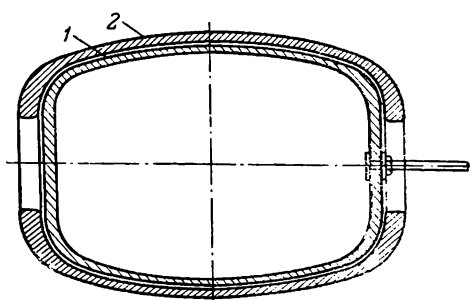


Рис. 180. Профиль варочной камеры для пневмокатка:

1—профиль камеры; 2—профиль пневмокатка.

собствует также центровке сердечника варочной камеры относительно плоскости симметрии профиля покрышки и обеспечивает получение покрышки с одинаковой шириной бортов.

Толщина стенок варочной камеры принимается тем большей, чем больше ширина профиля шины, обычно в пределах 4—12 мм. Толщина сердечника принимается больше толщины стенки камеры на 75—150%. Варочная камера с толстыми стенками лучше расправляется при закладке ее в покрышку и имеет бóльшую долговечность. Однако увеличенная толщина стенки снижает теплопередачу при вулканизации покрышки, а также в ряде случаев затрудняет закладку камеры в покрышку.

Варочные камеры для вулканизации бескамерных шин обычно имеют на поверхности радиальные риски высотой 0,5—1,0 мм,

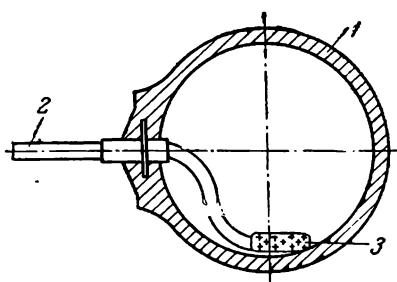


Рис. 181. Варочная камера с вентилем:
1—варочная камера; 2—вентиль; 3—наконечник вентиля.

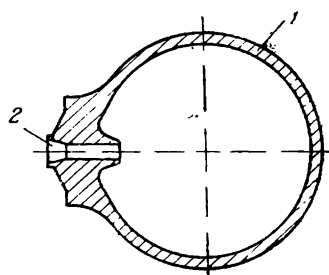


Рис. 182. Безвентильная варочная камера:
1—профиль варочной камеры; 2—манжета.

служащие для отвода воздуха из пространства между стенками варочной камеры и герметизирующим слоем бескамерной шины.

Вентиль варочной камеры обеспечивает подачу в нее перегретой воды или пара, а также удаление перегретой воды или конденсата после вулканизации. Для этой цели вентиль имеет гибкий шланг или другие устройства. На конце шланга предусматривается перфорированный наконечник (рис. 181), предохраняющий внутренний канал шланга от засорения крошкой резины, которая образуется в полости камеры вследствие старения и растрескивания резины стенок камеры в процессе многократной вулканизации. Широкое применение нашли также безвентильные варочные камеры, в сердечнике которых вместо вентиля предусматривается манжета (рис. 182).

Расчет спецификации заготовок варочной камеры совпадает практически с расчетом спецификации заготовок ездовой камеры.

Конструирование диафрагмы для формования и вулканизации покрышек в форматоре-вулканизаторе

Профиль диафрагмы изображен на рис. 183. Размеры и форма диафрагмы должны позволять закладку покрышки в прессформу вулканизатора, для чего наружный диаметр диафрагмы не должен превышать посадочный диаметр покрышки более чем на 10—80 мм (в зависимости от размеров покрышки). Посадочный диаметр диафрагмы D'_n принимается на 100÷200 мм меньше посадочного диаметра покрышки. В связи с этим при вулканизации покрышки имеет место относительно большая вытяжка диафрагмы по наружному диаметру—от 40 до 100%. Вытяжка диафрагмы по наружному диаметру тем больше, чем больше отношение

наружного диаметра покрышки к посадочному ее диаметру. Вытяжка диафрагмы в покрышке в направлении образующей принимается в пределах 5÷15%. При меньших вытяжках долговечность камеры выше, однако при этом возникает опасность образования складок диафрагмы в формованной покрышке вследствие изнашивания диафрагмы.

Толщина стенки диафрагмы принимается в пределах 10÷20 мм в зависимости от размеров покрышки.

Кромки диафрагмы выполняются утолщенными для

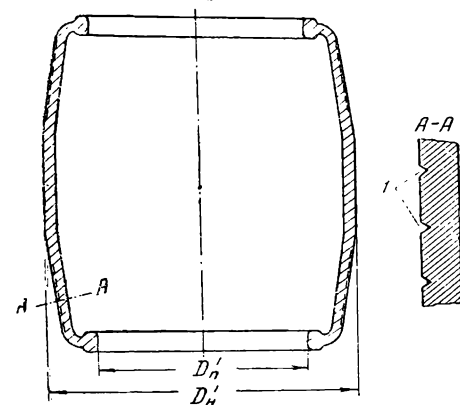


Рис. 183. Профиль диафрагмы для формования и вулканизации покрышек в форматоре-вулканизаторе:

1—риски для отвода воздуха.

обеспечения надежного их закрепления в вулканизаторе и надежного уплотнения.

На поверхности диафрагмы в зоне скругления профиля предусматриваются риски для отвода воздуха из пространства между диафрагмой и покрышкой. Ширина и глубина рисков составляет 1,5÷2,5 мм, расстояние между ними 5÷15 мм.

Диафрагма изготавливается методом литья под давлением.

Конструирование прессформ для вулканизации покрышек

Прессформа для вулканизации должна обеспечить необходимые форму и размеры всех элементов шины. От конструкции формы, чистоты ее поверхности и тщательности обработки элементов рисунка протектора зависит также внешний вид покрышки.

Прессформа должна соответствовать условиям производства шин: типу вулканизационного оборудования, режиму вулканизации, условиям формования и равномерного прогрева покрышки, а также отвечать требованиям простоты и минимальной трудоемкости обслуживания вулканизационного оборудования (удобство установки формы на оборудование, смены, чистки и т. п.). Прессформа должна иметь достаточную прочность и долговечность.

Конструкция прессформы, ее материал, допуски на точность изготовления и чистота обработки поверхностей выбираются с учетом технологических возможностей изготовления прессформ. Вопросы трудоемкости и стоимости изготовления прессформы являются обычно второстепенными, так как стоимость формы очень быстро окупается, если новая модель шины имеет большую долговечность в эксплуатации.

Типы и виды прессформ различаются в зависимости от оборудования, на которое прессформы устанавливаются, от условий нагрева прессформы и от способа изготовления рисунка протектора на прессформе. Так, различают прессформы для форматоров-вулканизаторов, для обычных вулканизаторов и для автоклавов. Прессформы для вулканизаторов разделяются на прессформы без паровой рубашки и прессформы с паровой рубашкой. Различают прессформы цельные с гравировкой рисунка протектора и прессформы с литыми секторными вкладышами, имеющими протекторный рисунок. Основные типы прессформ показаны на рис. 184.

Прессформы для форматоров-вулканизаторов (рис 184, а) обычно не имеют паровой рубашки и отличаются тем, что имеют специальное устройство для крепления диафрагмы, заменяющей варочную камеру. Бортовые кольца такой прессформы имеют высоту, равную ширине борта вулканизированной покрышки.

Прессформы без паровой рубашки для обычных вулканизаторов (рис. 184, б) более просты по конструкции, так как рассчитаны на применение варочных камер. Бортовые кольца этих прессформ по высоте доходят до плоскости разъема.

Если вулканизатор не имеет специальной оболочки для парового обогрева, прессформа для него делается с паровой рубашкой (рис. 184, в). Недостатками такой прессформы являются неравномерный прогрев отдельных участков покрышки и невозможность вулканизации в них покрывок с высоким содержанием СК. В этом случае необходимо охлаждение прессформы в конце цикла вулканизации (во избежание повреждений протектора при выемке покрышки из прессформы и др.), что недопустимо удлиняет время цикла. Сложность изготовления и повышенная стоимость также является недостатком прессформ с паровой рубашкой.

Вкладыши форм, подвергающихся охлаждению, изготавливаются большей частью из точного стального литья; применение алю-

миниевых сплавов в этом случае не рекомендуется, так как плотность укладки вкладышей нарушается в связи с температурными деформациями.

Прессформы с паровой рубашкой в процессе вулканизации не охлаждаются, и поэтому в таких прессформах, как правило, применяются литые вкладыши с рисунком протектора, изготовленные чаще всего из алюминиевых сплавов (например, Al 92—88%; Si 7—10%; Mn 0,3—0,5%).

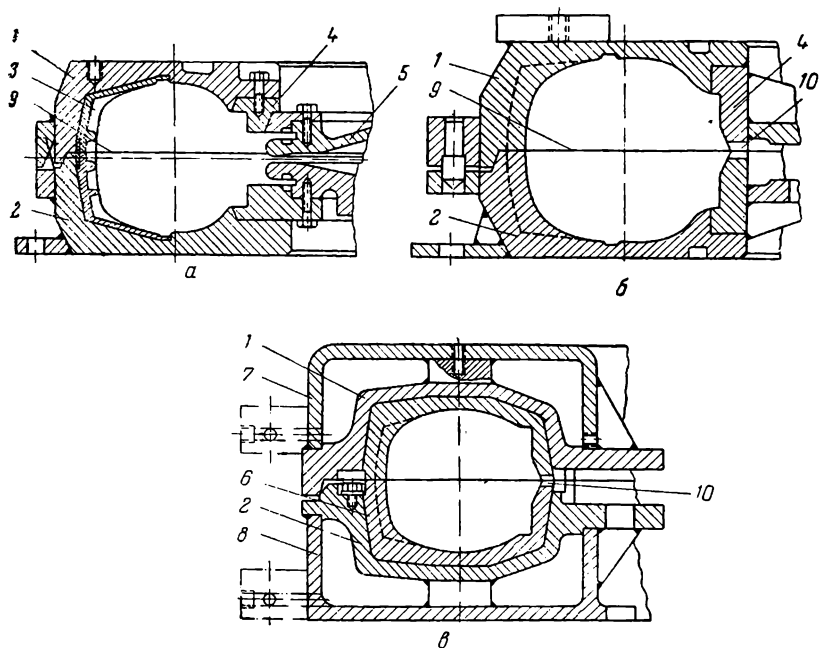


Рис. 184. Прессформы для вулканизации покрышек:

а—прессформа для форматора-вулканизатора; *б*—прессформа для обычного вулканизатора; *в*—прессформа с паровой рубашкой для обычного вулканизатора. 1—верхняя половина прессформы; 2—нижняя половина прессформы; 3—секторный вкладыш с рисунком протектора; 4—бортовое кольцо; 5—зажимное кольцо (диафрагмы); 6—кольцевой вкладыш с рисунком протектора; 7—верхняя паровая рубашка; 8—нижняя паровая рубашка; 9—плоскость разъема прессформы; 10—вентильное отверстие.

Прессформы для прессавтоклавов отличаются простотой конструкции и отсутствием устройств для крепления их в автоклаве. Прессформы для автоклавов должны обладать большей прочностью, чем прессформы для вулканизаторов, так как подвергаются систематическим ударным воздействиям при перезарядке автоклава. Чаще автоклавные прессформы изготавливаются цельными, без вкладышей. Автоклавные прессформы изготавливаются обычно из стального литья—углеродистой стали с содержанием угле-

рода в пределах $0,2 : 0,4\%$. Эти прессформы отличаются повышенным весом.

Цельные прессформы с гравировкой рисунка протектора в теле самой прессформы или в цельном кольцевом вкладыше (см. рис. 184, б, в) отличаются более высокой стоимостью из-за большой трудоемкости процесса гравировки рисунка. Недостатком такой конструкции прессформ является также очень ограниченные возможности надежного крепления в рисунке тонких стальных пластинок для формирования щелевидных канавок, получивших широкое распространение в современных типах рисунков протектора.

В последние годы наибольшее распространение получили прессформы с секторными вкладышами, изготавливаемые литьем (рис. 184, а). Рисунок беговой дорожки в каждой половинке такой прессформы получается укладкой по окружности прессформы плотно прилегающих друг к другу (20—40 шт.) секторных вкладышей (рис. 185).

Изготовление таких прессформ позволяет легко заменять в производстве устаревшие модели шин на новые. В таких прессформах обеспечивается высокое качество выполнения рисунка.

При изготовлении вкладышей литьем в рисунке протектора легко выполняются щелевидные канавки, так как тонкие пластинки ввариваются в металл вкладыша в процессе литья и не требуют специального крепления.

При изготовлении прессформ крупными сериями стоимость прессформ с вкладышами ниже, чем стоимость цельных прессформ. Однако при штучном производстве более экономичны цельные прессформы.

Прессформы различных типов имеют также ряд общих конструктивных особенностей.

Так, разъем прессформы для покрышек обычно делается по середине беговой дорожки. Если плоскость разъема рассекает идущую в окружном направлении канавку на протекторе покрышки, т. е. выступы гравировки рисунка по протекторной части формы, то разъем смещают на $10-20$ мм, чтобы избежать выпрессовку резины в канавке протектора и не ослабить выступы, находящиеся по середине беговой дорожки. Нецентральный разъем

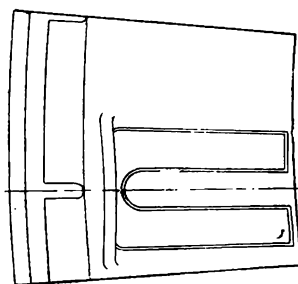
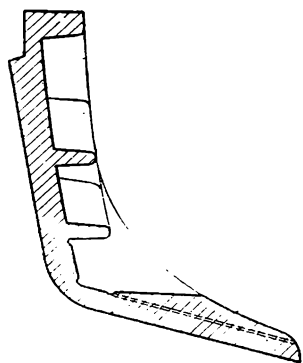


Рис. 185. Секторный вкладыш с рисунком протектора.

прессформ используется также для того, чтобы обеспечить при раскрывании формы постоянное положение покрышки в одной, большей половине прессформы для облегчения механизации операции выемки покрышки из прессформы.

По внешней окружности поверхности разъема (рис. 186) обычно предусматриваются конические посадочные поверхности на верхней и нижней половинке (замок) для обеспечения центрирования половинок прессформ друг относительно друга. Конусность поверхностей облегчает раскрывание прессформ.

Отдельные приварные бортовые кольца предусматриваются в цельных прессформах с гравированным рисунком протектора, так как операция гравировки рисунка на существующих гравировальных станках возможна лишь при отъеме бортовых колец.

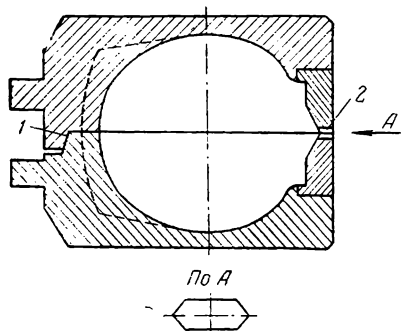


Рис. 186. Замок (1) и отверстие для вентиля варочной камеры (2) в прессформе для вулканизации покрышек.

Отверстие для вывода вентиля варочной камеры во избежание смятия вентиля при закрытии прессформы делается вытянутым по окружности разъема.

В конструкции прессформы предусматриваются устройства, обеспечивающие качество формирования и облегчающие выемку покрышки из прессформы.

Для удаления воздуха из выемок в рисунке прессформы применяются прорези выступов («мостики»), сверления в прессформе и риски по контуру выступов и по поверхностям разъема

прессформы (рис. 187). Остающийся в выемке воздух не только портит внешний вид покрышки, давая недопрессовки, но, вследствие малой теплопроводности, является также причиной недовулканизации по месту недопрессовки. Применение мостиков менее желательно, так как в процессе эксплуатации покрышки они рвутся и дают начало трещинам в протекторе.

Сверления делаются в выступах между углублениями рисунка и в стенке прессформы (рис. 188). Сверления в выступах обеспечивают отвод воздуха лишь тогда, когда расположены у самого основания выступов. Поэтому сверления могут делаться только в выступах, прилегающих к разъему прессформы; выступы, расположенные у края беговой дорожки, для этой цели недоступны. Сквозные сверления стенок делаются по всей формирующей поверхности прессформы и в первую очередь в изолированных углублениях прессформы. Диаметр сверла рекомендуется в пределах $1 \div 1,5$ мм; увеличение диаметра сверления увеличивает потери резины на выпрессовки.

Дополнительно для отвода воздуха из прессформы по контуру выступов рисунка протектора и по поверхности замка прессформы делаются риски (см. рис. 187 и 188). Риски часто предусматриваются также по формирующей поверхности боковин и бортовой части.

Допуски на размеры прессформы должны обеспечивать хорошую работоспособность покрышки и требуемый внешний вид ее. Для габаритных размеров покрышки принят допуск $0,15 \div 0,4$ мм. По сопрягающимся диаметрам конического замка прессформы принимается допуск для верхней половины $-0,2$ мм и для нижней половины $+0,2$ мм. Допуск по посадочному диаметру покрышки в прессформе принимается $-0,2$ мм. Отклонение по профилю от шаблона допускается в пределах $0,15 \div 0,4$ мм в тело прессформы. Отклонения по ширине и высоте выступов рисунка протектора допускается в пределах $0,2$ мм. Отклонение в размерах элементов рисунка протектора в плане допускается в пределах $0,4$ мм.

Прилегание поверхностей замков нижней и верхней половинок прессформы, посадочных и торцовых поверхностей вкладышей обеспечивается шабровкой с проверкой по краске. Непараллельность опорных поверхностей прессформы, определяемая разностью высоты прессформы по ее окружности, допускается в пределах $0,4$ мм.

У прессформ для автоклавов на опорной поверхности верхней половины для обеспечения равномерного прогрева формы при вулканизации предусматриваются паровые канавки (рис. 189). Паровые канавки дают возможность проникновения пара между формами, сложенными стопкой в автоклаве, а также удаления образующегося между формами конденсата.

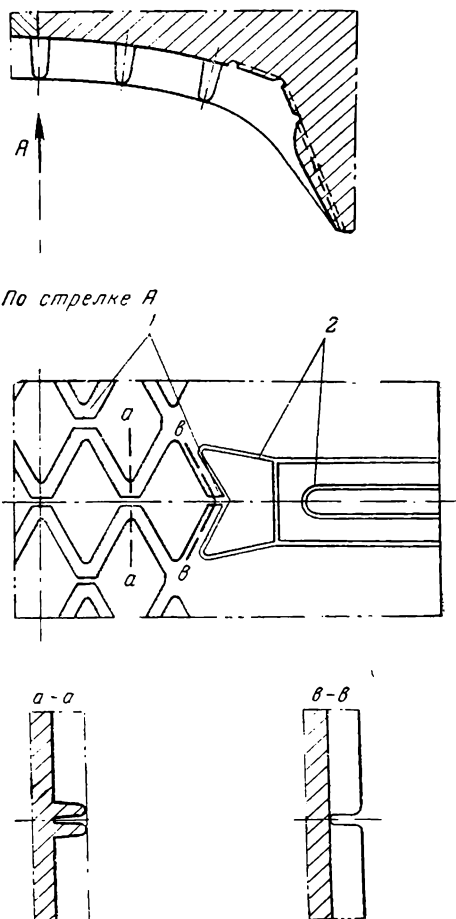


Рис. 187. Мостики (1) и контурные риски (2) рисунка протектора прессформ.

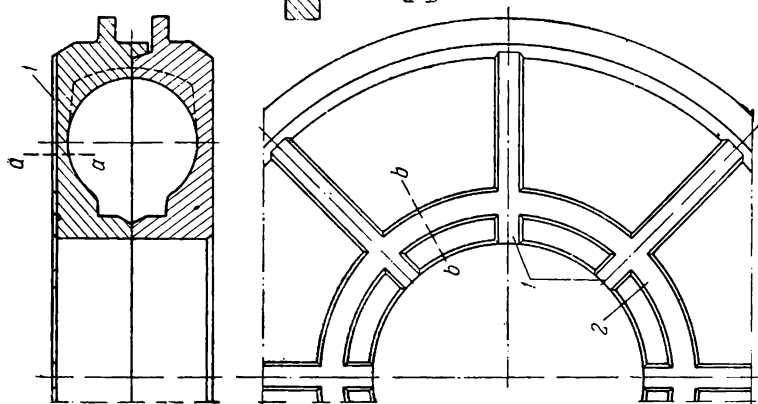


Рис. 189. Паровые канавки для обогрева автотлавленной прессформы:
1—радиальные; 2—кольцевая.

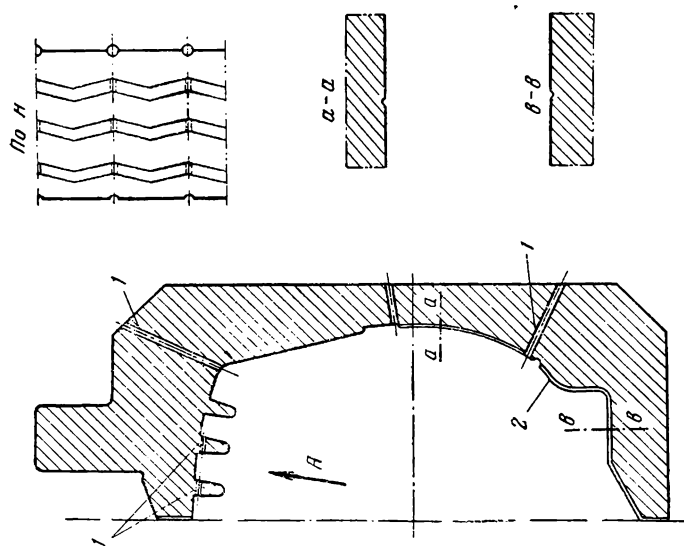


Рис. 188. Сверления (1) и риски (2) по формующей поверхности прессформы.

Конструирование прессформ для вулканизации ездовых камер, диафрагм и ободных лент

Так как формы для вулканизации ездových камер перед выемкой свулканизованной камеры не охлаждаются, они делаются с паровой рубашкой (рис. 190).

Цикл вулканизации камер очень короткий, в пределах 5—20 мин, поэтому прессформа должна обеспечивать высокую равномерность обогрева всей поверхности камеры. С этой целью каждая половинка прессформы делается сварной, что позволяет при изготовлении прессформы обработать обогревающую поверхность

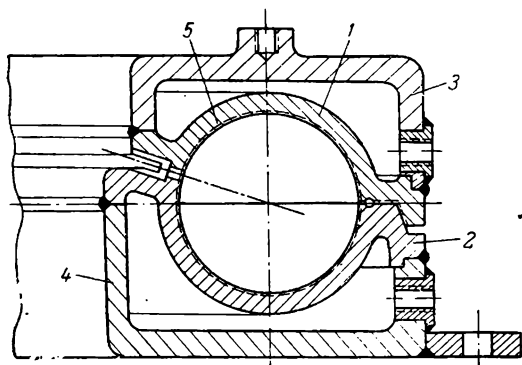


Рис. 190. Прессформа для вулканизации ездových камер:
1—верхняя половинка формы; 2—нижняя половинка формы;
3—верхняя паровая рубашка; 4—нижняя паровая рубашка;
5—риски против недопрессовки.

формы со стороны паровой рубашки. В случае грузовых камер, имеющих относительно массивный вентиль и толстый резиновый фланец вентиля, у вентильного отверстия предусматривается дополнительный обогрев прессформы с помощью проволочных спиралей, через которые пропускается электрический ток. Разъем прессформы по наружной окружности камеры делается по середине, а по бандажной части камеры разъем делается выше середины со смещением, определяемым центральным углом 25—30°. Такой разъем прессформы позволяет избежать закусывания камеры при закрывании прессформы. Если положение вентиля не совпадает с линией разъема прессформы по бандажной части, то в нижней части прессформы делается выемка, а в верхней половине устанавливается сухарь (или клин), закрывающий эту выемку при закрытии прессформы (рис. 191).

Прессформы для ездových камер обычно изготавливают из стального литья, что позволяет применять сварку. По формулю-

шей поверхности прессформы и по замочной поверхности поверхности предусматривают риски для вывода воздуха из прессформы.

Прессформа для диафрагмы отличается наличием замка плунжерного типа (рис. 192). При закрывании прессформы верхняя

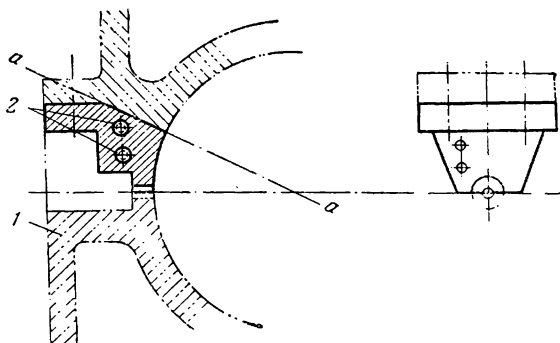


Рис. 191. Сухарь вентиляционного отверстия прессформы для вулканизации ездовых камер:
а—а—линия разреза формы; 1—профиль прессформы; 2—элементы электрообогрева.

половина ее скользит по цилиндрической направляющей поверхности нижней половинки и по принципу литья под давлением за-

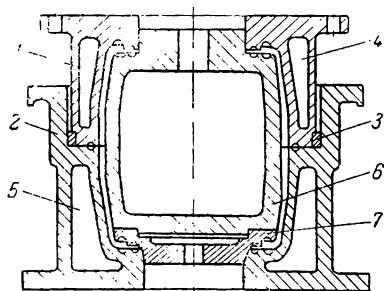


Рис 192. Прессформа для вулканизации диафрагмы форматора-вулканизатора:

1—верхняя половина прессформы; 2—нижняя половина прессформы; 3—уплотнительное кольцо; 4—верхняя паровая рубашка; 5—нижняя паровая рубашка; 6—сердечник; 7—нижняя часть сердечника.

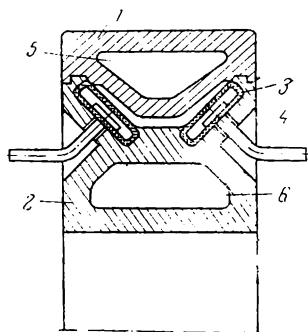


Рис. 193. Прессформа для вулканизации ободных лент на вулканизаторе:

1—наружный сектор; 2—внутреннее кольцо; 3—варочная камера; 4—вентиль варочной камеры; 5—паровая рубашка наружного сектора; 6—паровая рубашка внутреннего кольца.

ставляет резиновую смесь заготовки диафрагмы перетекать и заполнять всю формующую полость камеры формы. Для предупреждения излишней выпрессовки резины по замку предусматривается

плотнение. Прессформа имеет паровые рубашки, соединенные с половинками прессформ сваркой (на рисунке сварка не показана).

Для облегчения съема готовой диафрагмы с сердечника прессформы последний делается с отъемной нижней частью.

Прессформа для ободных лент обычно имеет разъем по диаметральному сечению, что дает возможность создать вулканизатор, занимающий малую производственную площадь и требующий малые трудовые затраты на свое обслуживание.

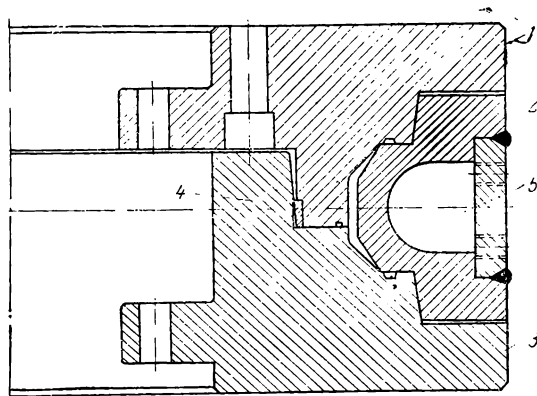


Рис. 194. Прессформа для вулканизации ободных лент по принципу литья под давлением:

1—верхняя половина прессформы; 2—сердечник; 3—нижняя половина прессформы; 4—уплотнительное кольцо; 5—паровая рубашка.

Для обеспечения формирования ободной ленты в форме (рис. 193) постоянно находятся две резино-тканевые варочные камеры, в которые подается сжатый воздух для прессования. Прессформы обогриваются с помощью паровых рубашек.

В последнее время для вулканизации ободных лент применяются прессформы, которые рассчитаны на работу по принципу литья под давлением (рис. 194). Преимуществом таких прессформ является высокое качество лент и снижение трудоемкости их изготовления.

ШИНЫ С МЕРИДИОНАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НИТЕЙ КОРДА В КАРКАСЕ

КОНСТРУКЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ШИН

Шины с меридиональным расположением нитей корда в каркасе⁸, представляющие тип шин, принципиально отличный от обычных, были впервые выпущены в 50-х годах фирмой «Мишлен» (см. рис. 17, стр. 22).

Эти шины первоначально имели текстильный каркас и брекер из металлокорда. В дальнейшем изготовлялись различные варианты таких шин: полностью из металлокорда и полностью из текстильного корда.

В Советском Союзе шины с меридиональным направлением нитей корда в каркасе получили название шин типа Р (радиальные).

Для этих шин характерно сочетание каркаса с меридиональными нитями с брекерным поясом, нити которого имеют направление, близкое к окружному ($\beta=70-80^\circ$). Схема устройства шины типа Р показана на рис. 195.

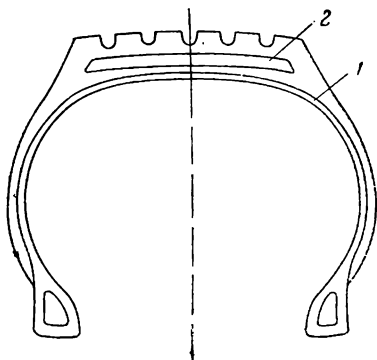


Рис. 195. Схема устройства шины типа Р:

1—меридиональный каркас; 2—брекерный пояс с нитями, идущими в направлении, близком к окружному.

В связи с меридиональным направлением нитей каркас шины типа Р малослойный. Количество слоев каркаса из текстильного корда обычно вдвое меньше, чем в аналогичных шинах обычного типа; при использовании металлокорда, как правило, достаточно одного его слоя в каркасе.

Брекер шин типа Р выполняется обычно довольно мощным. При использовании металлокорда в легковых шинах применяется двух- или трехслойный брекер. При трех слоях в двух из них нити составляют с меридианом углы $70-80^\circ$, а слой, который кладется непосредственно на каркас, имеет угол $0-30^\circ$. Брекер из текстильного корда в легковых шинах делается 4—

6-слойным, причем или все слои имеют угол корда $70-80^\circ$ или в некоторых слоях угол составляет около 45° .

В грузовых шинах применяется металлокордный брекер, имеющий 3—5 слоев. В грузовых шинах небольших размеров может быть и текстильный брекер.

Большой угол, составляемый нитями брекерного пояса с меридианом, наличие нитей каркаса, являющихся как бы диагоналями ромбов, образованных нитями брекера, а также наличие в брекерном поясе различно ориентированных слоев позволяет рассматривать брекерный пояс как нерастяжимую гибкую ленту.

При качении шины по плоскости эта лента ведет себя подобно гусенице, причем смещения точек протектора относительно дороги существенно меньше, чем для шин обычного типа. Поэтому протектор шин типа Р изнашивается меньше, чем протектор обычных шин. В связи с малой растяжимостью брекерного пояса радиус качения шины практически равен радиусу брекерного пояса, причем последний во избежание больших деформаций материала и повышенного износа шины должен иметь форму близкую к цилиндрической.

Можно предвидеть, что в связи с наличием жесткого брекерного пояса шины типа Р окажутся более подходящими для эксплуатации на усовершенствованных дорогах. На плохой дороге при наездах на препятствия в жесткой конструкции возникают значительные напряжения.

Интересно отметить, что, несмотря на жесткость брекерного пояса, шина типа Р в целом является более податливой, чем обычная шина такого же размера. При одинаковых внутреннем давлении и нагрузке радиальный прогиб шины Р на 25—30% больше, чем обычной. Это объясняется большой податливостью тонких боковых стенок шины с ориентированными по меридианам нитями корда в каркасе. При этом режим работы корда здесь более благоприятен, чем в обычных шинах. Так, в однослойных шинах нити каркаса не испытывают деформаций сжатия, в многослойных шинах сжатие значительно меньше, чем в каркасе обычных шин с перекрещивающимися слоями.

Напротив, резина в зоне боковины шины типа Р испытывает весьма значительные деформации. Эти деформации являются тем более опасными, что развитие усталостного разрушения не задерживается нитями корда.

Изгиб боковой стенки шин типа Р при качении значительно больше, чем у обычных шин, и это приводит к возникновению двух зон повышенной деформации на стыках гибкой боковой стенки с бортом, с одной стороны, и с беговой дорожкой, с другой. Утяжеляет условия работы бортовой части шин типа Р и то, что вследствие малого числа слоев нагрузка на завороты передается через малую поверхность склеивания. Поэтому для шин типа Р наряду с трещинами по боковине одним из основных дефектов, ведущих

к преждевременному выходу шин из строя, являются расслоения в борте.

Для усиления борта шин типа Р используются текстильные или металлокордные бортовые ленты. В каркасе, боковинах и бортовой части шин используется резина повышенной прочности.

Конфигурация профиля шины типа Р по желанию конструктора может изменяться в широких пределах. При отсутствии брекерного пояса каркас с меридионально направленными нитями имеет равновесную конфигурацию, соответствующую большой высоте профиля (рис. 196, а). За счет изменения диаметра брекерного

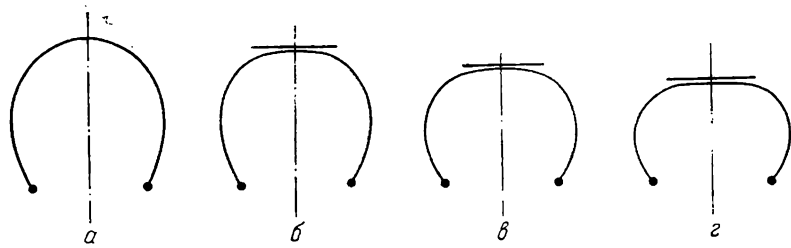


Рис. 196. Возможные конфигурации шин типа Р:
а—равновесная конфигурация меридионального каркаса; б, в, г—конфигурации, соответствующие различным отношениям $\frac{H}{B}$.

пояса, ограничивающего шину по диаметру, профилю может быть придана любая более низкая конфигурация. На рис. 196, б, в, г показаны такие конфигурации, отвечающие постоянной ширине профиля.

Пока что трудно сказать, какая из возможных конфигураций шины типа Р является предпочтительной. В настоящее время выпускаются шины типа Р с различными отношениями $\frac{H}{B}$ высоты профиля к его ширине.

Чем больше отношение $\frac{H}{B}$, тем ближе профиль шины к равновесному профилю шины без брекерного пояса; тем меньше усилия вызываемые в брекере внутренним давлением. Натянутый брекер является менее жестким и не обеспечивает, по-видимому, отсутствия проскальзываний в контакте, характерного для шин типа Р. Особенно это относится к шинам с брекерным поясом из текстильного корда. Вместе с тем шины типа Р с высоким профилем обладают весьма большой боковой податливостью, что нежелательно.

Поэтому можно полагать, что с точки зрения рабочих свойств для шин типа Р целесообразны значительно меньшие отношения

$\frac{H}{B}$, чем для шин обычного типа. Вместе с тем отличие наружного диаметра шин типа Р от диаметра соответствующих им обычных шин делает их невзаимозаменяемыми, приводит к сокращению дорожного просвета автомобиля.

В связи с этим может оказаться целесообразным использовать для шин типа Р специальные обода с увеличенным посадочным диаметром, так чтобы наружный диаметр шины типа Р совпадал с диаметром обычной шины, а высота профиля была соответственно меньшей.

Форму профиля шины типа Р можно охарактеризовать так называемым коэффициентом опоясанности k , определяющим уменьшение высоты профиля шины за счет влияния брекерного пояса

$$k = \frac{H_0 - H}{H_0}$$

где H_0 —высота равновесного профиля шины с меридиональными нитями без брекера, H —высота профиля шины типа Р. Размеры берутся по внутреннему контуру каркаса, причем предполагается, что длина нитей каркаса в обоих случаях одинакова.

Влияние коэффициента опоясанности на работоспособность шин рассмотрено в работе³⁴.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ШИН ТИПА Р

Конфигурация шины

Брекерный пояс шины типа Р, нити которого составляют с меридианом углы 70 — 80° , является очень жестким в окружном направлении. Каркас шины опирается по всей окружности беговой дорожки на этот брекерный пояс. В первом приближении можно считать, что в этой зоне при надувке шина сохраняет конфигурацию, приданную ей при вулканизации. Свободная часть каркаса вне брекерного пояса принимает равновесную конфигурацию, соответствующую углу $\beta = 0^\circ$. Эта конфигурация может быть рассчитана по номограмме (рис. 197), которая построена методами, изложенными в гл. II (стр. 74). На номограмме нанесены линии $\frac{L}{R} = \text{const}$, где L —длина нити корда, совпадающая при $\beta = 0$ с длиной профиля.

Дополнительно на номограмме построено также семейство линий, отвечающих различным значениям величины $\frac{b-h}{r}$, где b —максимальная полуширина профиля по внутреннему контуру, h —полуширина профиля в точке, лежащей на расстоянии r от оси вращения.

Профиль шины типа Р в свободной части каркаса ВС (на боковине) представляет собой часть профиля, изображенного на номограмме, не включающую точку экватора K' (рис. 198).

Если профиль боковины продолжить, то окажется, что точка экватора K' не лежит на оси симметрии профиля шины и радиус экватора равновесного профиля R' не совпадает с радиусом R экватора шины.

Ось симметрии равновесного профиля $K'O'$ сдвинута относительно оси симметрии профиля шины KO .

Точку B , отделяющую недеформируемую зону под бреккерным поясом от свободной части каркаса, назовем точкой бреккера (по аналогии с точкой обода C).

Так же как и для обычных шин, для шин типа Р могут быть два расчета конфигурации шины—проектный и поверочный.

При проектном расчете шины определяется конфигурация вулканизационной формы, необходимая для получения шины, имеющей после надувки заданные размеры. При поверочном расчете по известным размерам вулканизационной формы устанавливаются размеры надутой шины.

Ниже рассматривается расчет конфигурации без учета удлинения нити корда²⁵.

В случае необходимости учета удлинений нитей корда производится методами, рассмотренными ниже (см. стр. 249).

Проектный расчет конфигурации выполняется таким образом:

1. По заданным наружным габаритам шины, профилю обода и исходя из предварительно выбранных калибров деталей шины находят характерные размеры шины по внутреннему контуру: полуширину профиля b , радиус точки обода $r_{об.}$ и расстояние этой точки от оси симметрии профиля $h_{об.}$.

2. Вычисляют отношение $\frac{b-h_{об.}}{r_{об.}}$

3. Задают значение радиуса R' равновесного профиля боковины. Этот радиус принимается немного меньшим, чем желательный радиус шины по экватору R (по внутреннему контуру).

4. Определяют $\lambda_{об.} = \frac{r_{об.}}{R'}$.

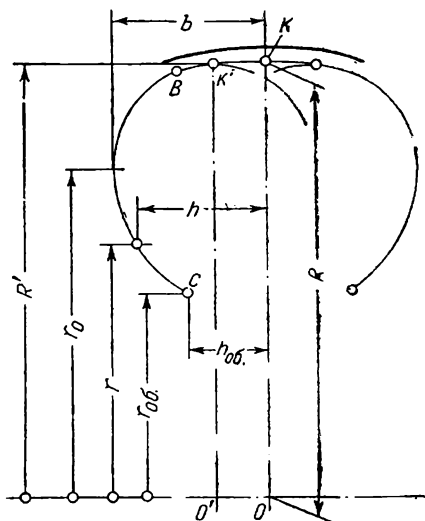


Рис. 198. К расчету конфигурации шины типа Р

5. На номограмме (рис. 197) находят точку обода, отвечающую полученным значениям $\lambda_{об.}$ и $\frac{b-h_{об.}}{r_{об.}}$ (рис. 199, а). Профиль $K'C$, определяемый этой точкой, строят в натуральную величину (рис. 199, б).

6. На расстоянии $h_{об.}$ от точки C проводят ось симметрии профиля шины KO . Как уже указывалось, эта ось не совпадает с осью симметрии профиля на номограмме.

7. Задаваясь шириной брекера $2h_{бр.}$ (в зависимости от ширины беговой дорожки шины) определяют положение точки брекера B (рис. 199, б) и очерчивают конфигурацию подпротекторной части шины KB . Желательно, чтобы вблизи точки B эта конфигурация мало отличалась от равновесной конфигурации KB . В средней

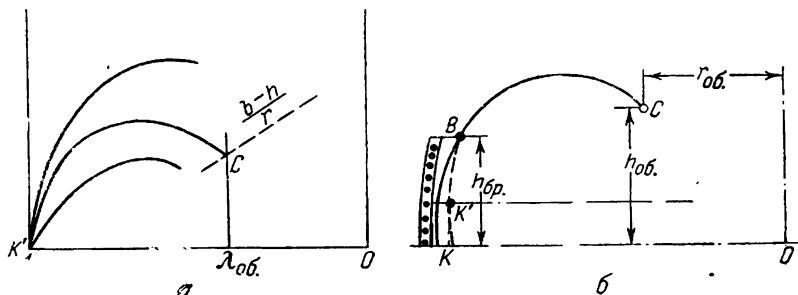


Рис. 199. К проектному расчету шины типа Р:
а—схема пользования номограммой; б—профиль шины

части брекера кривизна линии KB должна быть существенно меньше, чем кривизна равновесного профиля $K'B$. Сам брекерный пояс, как уже указывалось, должен быть почти цилиндрическим. С этой целью около края брекера (вблизи точки B) между брекером и каркасом помещают резиновые ленточки.

8. Если наружный диаметр спроектированной таким образом шины отличается от желаемого, производят пересчет, задаваясь новым значением R' .

Вулканизационную форму следует проектировать так, чтобы покрышка в ней имела конфигурацию, определенную при расчете надутой шины. При этом приближенно можно считать, что при накачивании форма и размеры покрышки не изменяются. Если же изменения размеров шины при накачивании существенны, то размеры покрышки, определяющие конфигурацию вулканизационной формы, следует несколько уменьшить в соответствии с удлинением нитей от внутреннего давления (см. стр. 249).

При таком проектировании вулканизационной формы необходимость в поверочном расчете, как правило, отпадает.

Поверочным расчетом является определение конфигурации нагруженной давлением шины по известному профилю вулкани-

зационной формы. Для этого на внутреннем контуре шины в форме находят точки обода и брекера, определяют их расстояния от оси вращения и от оси симметрии профиля и длину профиля (нити) между этими точками. Для определения конфигурации шины необходимо вписать между точками обода и брекера участок равновесной конфигурации заданной длины— s . Для решения этой задачи следует воспользоваться приближенными методами.

Рассмотрим профиль боковой части каркаса шины в системе координат ry , показанной на рис. 200. Наклон профиля к оси r невелик, и можно предположить, как это делается при расчете балок, что кривизна профиля определяется так:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dr^2}$$

С другой стороны, для кривизны равновесного профиля при $\beta=0$ имеется формула:

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{2r}{R^2 - r_0^2}$$

Сопоставляя эти два выражения, получим уравнение профиля в следующем виде:

$$\frac{d^2y}{dr^2} = -\frac{A}{r_{об}^2} r$$

где

$$A = \frac{2r_{об}^2}{R^2 - r_0^2}$$

Интегрируя это уравнение получим:

$$y = -\frac{A}{6r_{об}^2} (r^3 + C_1 r + C_2)$$

Постоянные интегрирования определим из условий $y=0$ в точке обода (при $r=r_{об.}$) и $y = h_{бр.} - h_{об.}$ в точке брекера (при $r=r_{бр.}$). Отсюда находим:

$$C_1 = -r_{об.}^2 (1 + \gamma + \gamma^2) - \frac{6r_{об.} (h_{бр.} - h_{об.})}{(\gamma - 1) A}$$

$$C_2 = r_{об.}^3 \gamma (1 + \gamma) + \frac{6r_{об.}^2 (h_{бр.} - h_{об.})}{(\gamma - 1) A}$$

где $\gamma = \frac{r_{бр.}}{r_{об.}}$.

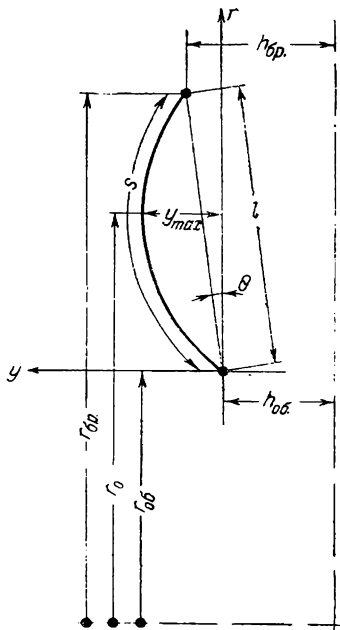


Рис. 200. К выводу приближенного уравнения профиля шины типа Р.

Подставляя эти значения постоянных, имеем:

$$y = (r - r_{об.}) \operatorname{tg} \theta - \frac{A}{6r_{об.}^2} [r^3 - (\gamma^2 + \gamma + 1)r_{об.}^2 r + \gamma(\gamma + 1)r_{об.}^3]$$

где $\operatorname{tg} \theta = \frac{h_{бр.} - h_{об.}}{r_{бр.} - r_{об.}}$ (см. рис. 200).

Длина профиля между точками брекера и обода определяется по формуле:

$$s = \int \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dr}\right)^2} dr$$

Подставляя значение $\frac{dy}{dr}$, найдем:

$$s = \int \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta - \frac{A \operatorname{tg} \theta}{3} \left[3 \frac{r^2}{r_{об.}^2} - \gamma^2 - \gamma - 1 \right] + \frac{A^2}{36} \left[9 \frac{r^4}{r_{об.}^4} - 6 \frac{r^2}{r_{об.}^2} (\gamma^2 + \gamma + 1) + (\gamma^2 + \gamma + 1)^2 \right]} dr$$

Извлекая квадратный корень приближенно и интегрируя в пределах от $r=r_{об.}$ до $r=r_{бр.}$, получим окончательно:

$$s = l + A^2 \frac{l \cos^4 \theta}{360} (\gamma - 1)^2 (4\gamma^2 + 7\gamma + 4)$$

где l —длина хорды (см. рис. 200). Это уравнение позволяет определить коэффициент A , если известна длина s нити на участке CB и длина хорды l

$$A = \frac{6}{(\gamma - 1) \cos^2 \theta} \sqrt{\frac{s - l}{l} \cdot \frac{10}{4\gamma^2 + 7\gamma + 4}}$$

Радиус r_0 можно найти из условия

$$\left(\frac{dy}{dr}\right)_{r=r_0} = 0 \quad \text{или}$$

$$\operatorname{tg} \theta - \frac{A}{6r_{об.}^2} [3r_0^2 - r_{об.}^2 (\gamma^2 + \gamma + 1)] = 0$$

откуда

$$r_0 = r_{об.} \sqrt{\frac{\gamma^2 + \gamma + 1}{3} + \frac{2 \operatorname{tg} \theta}{A}} =$$

$$= r_{об.} \sqrt{\frac{1}{3} \left[\gamma^2 + \gamma + 1 + (\gamma - 1) \sin \theta \cos \theta \sqrt{\frac{l}{s - l} \cdot \frac{4\gamma^2 + 7\gamma + 4}{10}} \right]}$$

Вслед за определением r_0 можно определить y_{\max} :

$$y_{\max} = (r_0 - r_{об.}) \operatorname{tg} \theta - \frac{A}{6r_{об.}^2} [r_0^3 - (\gamma^2 + \gamma + 1) r_{об.}^2 r_0 + \gamma(\gamma + 1) r_{об.}^3.]$$

Полуширина профиля b определяется как

$$b = h_{об.} + y_{\max}$$

Полученные формулы позволяют выполнить поверочный расчет шины типа Р без применения номограммы. Схема расчета следующая:

а) По чертежу по крышки в форме находим точки обода и брекера, их расстояния от оси вращения $r_{об.}$, $r_{бр.}$ и оси симметрии $h_{об.}$, $h_{бр.}$, расстояние между ними l и длину профиля s .

б) Вычисляем:

$$\gamma = \frac{r_{бр.}}{r_{об.}}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{h_{бр.} - h_{об.}}{r_{бр.} - r_{об.}}$$

$$\sin \theta = \frac{h_{бр.} - h_{об.}}{l}$$

$$\cos \theta = \frac{r_{бр.} - r_{об.}}{l}$$

в) Определяем A по формуле

$$A = \frac{6}{(\gamma - 1) \cos^2 \theta} \sqrt{\frac{s - l}{l} \cdot \frac{10}{4\gamma^2 + 7\gamma + 4}}$$

Далее по приведенным выше формулам вычисляем радиус r_0 , величину y_{\max} и полуширину профиля b .

Определение усилий в нитях корда и бортовых кольцах

Усилия в нитях корда каркаса в зоне боковины, где устанавливается равновесная конфигурация, определяют по общей формуле (51), в которой следует положить $\beta = 0$:

$$N_k = p \frac{\pi (R'^2 - r_0^2)}{\nu_k}$$

где ν_k — полное число нитей корда в каркасе. Как видно из формулы, это усилие в различных точках боковины одинаково.

В зоне беговой дорожки усилия от внутреннего давления распределяются между каркасом и брекером.

Усилия в нитях брекера $N_{бр.}$ связаны с интенсиностью окружного усилия (T_t) формулой

$$T_t = N_{бр.} n_{бр.} i_{бр.} \sin^2 \beta_{бр.}$$

Величина T_t , в свою очередь, определяется из уравнений равновесия

$$\frac{T_m}{\rho} + \frac{T_t \cos \varphi}{r} = p$$

$$T_m \cdot 2\pi r \cos \varphi = p\pi (r^2 - r_0^2)$$

где ρ —радиус кривизны каркаса.

Отсюда находим:

$$T_m = p \frac{r^2 - r_0^2}{2r \cos \varphi}$$

$$T_t = p \frac{2\rho r \cos \varphi - r^2 + r_0^2}{2\rho \cos^2 \varphi}$$

Усилия в нитях корда брекера в точке, лежащей на расстоянии r от оси вращения, равны:

$$N_{бр.} = \frac{T_t}{n_{бр.} i_{бр.} \sin^2 \beta_{бр.}} = p \frac{2\rho r \cos \varphi - r^2 + r_0^2}{2\rho \cos^2 \varphi n_{бр.} i_{бр.} \sin^2 \beta_{бр.}}$$

Расчет брекера на прочность следует производить по величине усилия по экватору, которую можно вычислить по приведенной формуле, если положить в ней $r=R$ и $\cos \varphi=1$. Получим:

$$N_{бр.} = p \frac{2\rho_k R - R^2 + r_0^2}{2\rho_k n_{бр.} i_{бр.} \sin^2 \beta_{бр.}}$$

где ρ_k , $i_{бр.}$, $\beta_{бр.}$ —значения соответствующих величин по экватору шины.

Запас прочности каркаса принимается таким же, как для обычных шин, или несколько меньшим, поскольку дополнительные усилия при качении в шинах типа Р меньше, чем в обычных.

Необходимый запас прочности брекера можно будет установить только после накопления достаточно полных данных по поведению шин в эксплуатации.

Усилие в бортовом кольце шины типа Р определяется по формуле

$$T = p \frac{R'^2 - r_0^2}{2}$$

Запас прочности бортовой проволоки принимается таким же, как и в обычных шинах, однако возможно, что для бортовых колец шин типа Р допустимы и меньшие запасы прочности в связи с меньшей величиной дополнительных усилий, возникающих при качении.

Полученные формулы позволяют определить, какая доля внутреннего давления в зоне беговой дорожки воспринимается карка-

сом и какая брекером. Обозначим эти доли соответственно γ_k и $\gamma_{бр.}$. Используя полученные формулы, найдем, что

$$\gamma_{бр.} = \frac{N_{бр.} n_{бр.} i_{бр.}}{\rho} \left(\frac{\cos^2 \beta_{бр.}}{\rho} + \frac{\sin^2 \beta_{бр.}}{r} \cos \varphi \right)$$

$$\gamma_k = 1 - \gamma_{бр.}$$

Шину в целом лучше всего охарактеризовать значениями этих величин в точке по экватору. Получим:

$$\gamma_{бр.} = \left(1 - \frac{R^2 - r_0^2}{2\rho_k R} \right) \left(1 + \frac{R}{\rho_k} \operatorname{ctg}^2 \beta_{бр.} \right)$$

$$\gamma_k = 1 - \gamma_{бр.}$$

Распределение давления между каркасом и брекером существенно меняется в зависимости от конструкции шины. Так, для низкопрофильной $\left(\frac{H}{B} = 0,79\right)$ шины 165—15 фирмы «Пирелли»: $\gamma_{бр.} = 0,95$; $\gamma_k = 0,05$, а для шины 6,70—15 фирмы «Мишлен» $\left(\frac{H}{B} = 0,94\right)$ — $\gamma_{бр.} = 0,68$; $\gamma_k = 0,32$.

Коэффициент $\gamma_{бр.}$ характеризует конструкцию шины аналогично введенному выше «коэффициенту опоясанности» k ; с увеличением k растет и $\gamma_{бр.}$.

Учет удлинения нитей корда

При больших нагрузках на нить следует учесть, что удлинение нитей сказывается на увеличении габаритных размеров шины.

Увеличение наружного диаметра шины, вызванное удлинением нитей корда брекера, равно:

$$\Delta D = D \varepsilon_{бр.}$$

где $\varepsilon_{бр.}$ — относительное удлинение нитей брекера, соответствующее усилию $N_{бр.}$ в нитях брекера. Это удлинение определяется по характеристике растяжения нити.

Длина нити каркаса с учетом удлинения равна

$$s^* = s(1 + \varepsilon_k)$$

где ε_k — удлинение нити, соответствующее усилию N_k в нитях каркаса.

При проектном расчете шины диаметр вулканизационной формы должен быть уменьшен на ΔD в сравнении с диаметром спроектированной надутой шины, а конфигурация боковины по форме устанавливается таким образом, чтобы длина нити каркаса равнялась s .

При поверочном расчете шины следует исходить из длины нити с учетом удлинения s^* и из увеличенного на ΔD в сравнении с формой диаметра шины.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ШИН С МЕРИДИОНАЛЬНЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ НИТЕЙ КОРДА В КАРКАСЕ

Технологический процесс, принятый для шин обычного типа, не может быть использован при изготовлении шин типа Р. Такие шины с различно ориентированными нитями в каркасе и брекерном поясе нельзя сформовать после сборки на барабане, так как при увеличении диаметра брекерный пояс стремится сократиться по ширине, длина же нитей каркаса остается неизменной. Поэтому при изготовлении шин типа Р обычным способом неизбежно возникают складки в подбрекерной части каркаса.

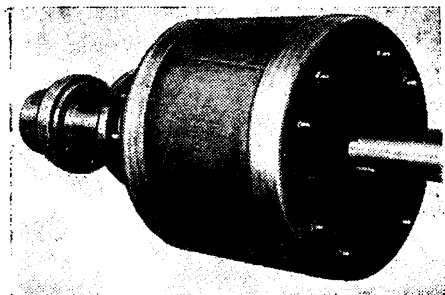


Рис. 201. Барабан с резиновой диафрагмой для сборки шин типа Р.

Единственным способом изготовления шин типа Р является способ, при котором брекерный пояс одевается на уже сформованный каркас шин.

Один из вариантов этого способа производства описан в работе³⁶. Сборка покрышки производится на специальном барабане (рис. 201) с резиновой цилиндрической диафрагмой и перемещающимся в осевом направлении фланцем. Вначале обечайка растягивается и внутрь барабана подается небольшое давление, так чтобы диафрагма имела форму цилиндра. На барабане собирается каркас покрышки и устанавливаются бортовые кольца. Затем фланцы барабана сближаются и внутрь его подается более высокое давление. При этом каркас шины формируется, получая конфигурацию, близкую к окончательной.

Затем на сформованный каркас накладывается брекерный пояс (рис. 202) и протектор. По окончании сборки внутреннюю полость барабана сообщают с атмосферой, и покрышка снимается с барабана (рис. 203).

Далее в покрышку закладывается варочная камера и покрышка вулканизуется обычным способом.

В шинах типа Р целесообразно применять безуточный корд, так как уток, разрываясь при формировании каркаса шины, нарушает правильное положение нитей корда в каркасе.

Увеличение натяжения нитей каркаса в процессе его формования, хотя и приводит к улучшению расположения нитей, но не позволяет полностью устранить вредное влияние утка.

Менее существенной особенностью технологии шин типа Р является необходимость применения специальных резательных

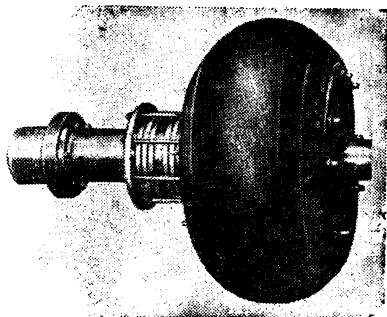


Рис. 202. Барабан с формованным каркасом покрышки шины и брекерным поясом.

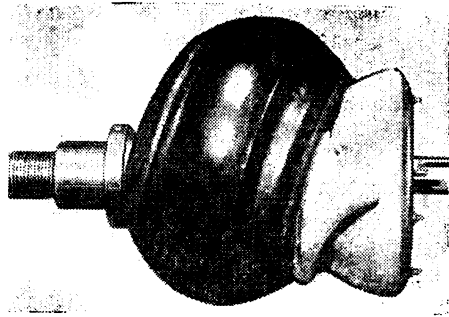


Рис. 203. Снятие сырой покрышки со сборочного барабана.

машин, позволяющих закраивать корд под нулевым углом для каркаса и под углом около 70° для брекера.

ШИНЫ СО СЪЕМНЫМ ПРОТЕКТОРОМ

В связи с тем, что шина типа Р состоит из самостоятельных частей—каркаса с радиальным направлением нитей и брекерного пояса с направлением нитей, близким к окружному, причем внутреннее давление плотно прижимает каркас к брекерному поясу, естественно возникла мысль сделать брекерный пояс с протектором съемным.

Такая конструкция (см. рис. 19, стр. 23) реализована в легковых шинах со съемными протекторными кольцами, выпущенных впервые итальянской фирмой «Пирелли». В этом случае шина с меридиональным направлением нитей имеет тонкий протектор с тремя продольными канавками. В эти канавки вставляются (при отсутствии давления в шине) протекторные кольца, имеющие 1—2 продольных слоя металлокорда. После накачки шина плотно прижимается к кольцам. Шины такого типа получили обозначение шин РС. Грузовые шины РС разработаны на Ярославском шинном заводе.

Основным преимуществом конструкции является возможность замены колец при износе. По-видимому, однако, отдельные,

не связанные друг с другом протекторные кольца на каркасе с меридиональными нитями не обеспечивают необходимой жесткости шины при восприятии ею боковых сил. Поэтому в ряде конструкций шин типа РС предусматривается брекер из двух слоев корда с углом порядка 45° . В этом случае, однако, увеличивается общая толщина шины по беговой дорожке и уменьшается контактное давление между шиной и протекторными кольцами, что приводит к менее надежной фиксации последних.

По-видимому, большую работоспособность имела бы шина с цельным съемным протекторным кольцом, однако изготовление такого кольца связано со значительными трудностями.

Наряду с удобством ремонта путем замены протекторных колец важным преимуществом шин типа РС является возможность изготовления их каркасов на обычном сборочном и вулканизационном оборудовании. Существенна также возможность изготавливать протекторные кольца из специальных типов резин, отличающихся высокой износостойкостью.

Расчет шин типа РС не отличается от расчета шин типа Р. Следует лишь положить $\beta_{\text{бр.}} = 90^\circ$.

Дополнительно для шин типа РС следует также определять контактное давление каркаса на кольца, от которого зависит плотность посадки последних.

Часть давления, воспринимаемая каркасом, составляет $p_k = \frac{N_k i n}{\rho}$, где N_k —усилие в нити корда каркаса, i —плотность нитей, n —число слоев каркаса, ρ —радиус кривизны каркаса в данной точке.

Подставляя вместо N_k его значение

$$N_k = p \frac{\pi (R'^2 - r_0^2)}{\gamma_k}$$

и учитывая, что $\gamma_k = 2\pi r n i$, найдем:

$$p_k = p \frac{R'^2 - r_0^2}{2r\phi}$$

Часть давления, воспринимаемая протекторными кольцами, составляет:

$$p_n = p - p_k = p \left(1 - \frac{R'^2 - r_0^2}{2r\phi} \right)$$

Эта величина существенно зависит от радиуса кривизны каркаса в данной точке под беговой дорожкой. Чем больше ρ , тем больше и p_n .

Имея чертеж шины и зная ρ в каждой точке, можно по полученной формуле построить эпюру давления p_n по ширине беговой

дорожки (рис. 204). Естественно, что в промежутках между кольцами давление не реализуется, так как каркас на этих участках прогибается. В связи с этим увеличивается контактное давление под краями колец и действительная эпюра распределения

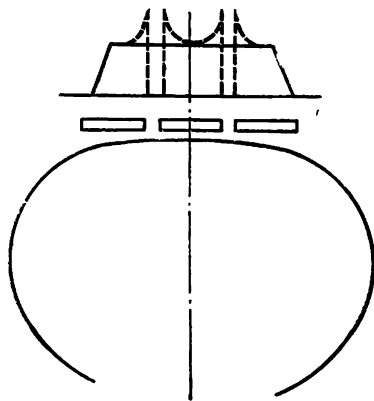


Рис 204. К определению давления на протекторные кольца.

давления имеет вид, представленный на рис. 204 пунктиром. Площадь действительной эпюры равна площади теоретической эпюры. Сила, растягивающая протекторное кольцо, равна произведению среднего контактного давления под кольцом на его радиус и ширину.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ШИН СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Потребности народного хозяйства привели к необходимости выпуска наряду со стандартными шинами для легковых и грузовых автомобилей также шин для автомобилей и других машин, рассчитанных на особые условия эксплуатации.

К таким шинам относятся, в частности, шины для автомобилей высокой проходимости и шины для скоростных автомобилей. Кроме того, мы рассмотрим шины для тракторов и сельскохозяйственных машин и широкопрофильные шины.

ШИНЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Значение шин в повышении проходимости автомобилей

За последнее время увеличилась протяженность автомобильных дорог с усовершенствованным покрытием.

Однако в ряде областей автомобили работают в плохих дорожных условиях, а иногда перевозка грузов производится по бездорожью. Так, например, в весеннее и осеннее время в сельских местностях автомобили работают по мягким и переувлажненным грунтам.

В таких условиях движение обычных автомобилей весьма затруднительно, и для обеспечения эффективной перевозки грузов применяются автомобили высокой проходимости, имеющие ряд конструктивных особенностей: увеличенное число ведущих осей, увеличенный дорожный просвет (клиренс), механизм блокировки дифференциала и др.

В последние годы появилось новое мощное средство повышения проходимости автомобилей в условиях работы их по мягким и топким грунтам. Этим средством явились шины специальных конструкций³⁷. Применение специальных шин сделало возможным движение автомобилей по таким дорогам, которые раньше были для колесных машин непроходимыми и преодолевались только машинами на гусеничном ходу.

Проходимость автомобиля определяется в основном давлением, приходящимся на единицу площади контакта шины с дорогой,

величиной площади контакта шины с дорогой и сцеплением шины с дорогой.

Величины давления на грунт и площади контакта определяют степень погружения колеса в грунт, т. е. образование колеи. От сцепления шины с дорогой зависит тяговое усилие, развиваемое на ведущих колесах автомобиля. Проходимость автомобиля по мягким грунтам повышается с уменьшением давления, увеличением площади контакта и улучшением сцепления шины с дорогой.

Возможность движения автомобиля определяется следующим соотношением между величиной тягового усилия, необходимого для качения колес, величиной тягового усилия, которое может быть обеспечено благодаря сцеплению шины с дорогой и силой сопротивления качению*:

$$P_{\varphi} \geq P_d \geq P_f$$

где P_{φ} —максимально возможная сила сцепления ведущих колес автомобиля с дорогой;

P_d —тяговое усилие на ведущих колесах автомобиля;

P_f —сила сопротивления качению всех колес автомобиля.

Величины P_{φ} , P_f и соотношение их на протяжении пути непрерывно изменяются. В условиях тяжелых, но проходимых дорог значения этих величин приближаются друг к другу; на некоторых участках P_f может превысить P_{φ} . Такие участки дороги автомобиль может преодолеть только по инерции.

Движение при близких величинах P_{φ} и P_f затруднительно, так как водитель должен точно выбирать режим движения для того, чтобы тяговое усилие на ведущих колесах все время было больше силы сопротивления качению и одновременно меньше силы сцепления шин с грунтом. При $P_d > P_{\varphi}$ происходит пробуксовывание, при $P_d < P_f$ машина останавливается или движется юзом. Ясно поэтому, насколько важно повысить сцепление колес с дорогой и уменьшить сопротивление качению.

В значительной мере это может быть достигнуто применением специальных шин.

При движении по мягким грунтам сила сцепления P_{φ} зависит от сопротивления грунта срезыванию грунтозацепами протектора и от трения шины о грунт. На величину силы сопротивления качению P_f влияет в этих условиях ряд факторов, но решающим является степень погружения шины в грунт, которая в основном определяется давлением шины на грунт и площадью контакта с дорогой.

Давление на грунт уменьшается с уменьшением давления воздуха в шине, поэтому конструкция шин для автомобилей повышен-

* Полагаем, что движение происходит по горизонтальному участку дороги с небольшой скоростью и пренебрегаем усилием, необходимым для преодоления подъема, и усилием, необходимым для преодоления сопротивления воздуха.

ной проходимости должна обеспечивать требуемую работоспособность при сниженном давлении воздуха.

Увеличение площади контакта шины, необходимое для повышения проходимости, достигается как уменьшением внутреннего давления, что снижает жесткость шины, так и увеличением габаритных размеров шины: наружного диаметра и ширины профиля. Значительное увеличение наружного диаметра шины невыгодно, так как при этом увеличивается высота центра тяжести автомобиля, поэтому площадь контакта шины с дорогой увеличивают обычно путем увеличения ширины профиля шины. Сцепление шины с мягким грунтом повышается благодаря увеличению площади контакта и наличию грунтозацепов. Форма грунтозацепов и их расположение должны обеспечивать повышение сопротивления грунта срезу и самоочистение впадин рисунка от грунта.

Первые попытки создания шин для повышения проходимости автомобилей были предприняты в СССР еще в 30-х годах. В то время были разработаны так называемые шины «сверхбаллон» (800×250), предназначенные для автомобилей ГАЗ-А, взамен стандартных шин 4,75—19 (см. рис. 9, стр. 17). На автомобилях, снабженных такими шинами, был совершен в 1933 г. испытательный пробег, маршрут которого проходил по пескам пустыни Кара-Кум. В этих условиях автомобили ГАЗ-А на шинах «сверхбаллон» показали хорошую проходимость, намного лучшую, чем те же автомобили на обычных шинах. Это было достигнуто путем значительного увеличения ширины профиля шины (приблизительно на 80% по сравнению с обычной шиной) и снижения давления воздуха до 0,8—1,0 кгс/см² (в обычных шинах давление воздуха было 2,0—2,5 кгс/см²). Поэтому площадь контакта шины «сверхбаллон» с грунтом увеличилась примерно в два раза по сравнению с обычной шиной. Шины «сверхбаллон» не получили в дальнейшем распространения, так как эксплуатация их в нормальных дорожных условиях приводила к ухудшению эксплуатационных качеств автомобиля: снижению скорости, повышению расхода топлива и т. д.

С 1941 г. промышленность начала выпускать шины с протекторами, имеющими глубокие рисунки с высотой грунтозацепов 15—25 мм (см. рис. 146, в стр. 189), что дало возможность повысить сцепление шин при движении автомобиля по мягким влажным грунтам в 1,5—2 раза. Эти шины благодаря своей универсальности получили широкое распространение на автомобилях, работающих в смешанных дорожных условиях. Следует, однако, отметить, что применение таких шин при систематической работе на твердых покрытиях, например в городах, нецелесообразно, так как в этих условиях снижаются эксплуатационные качества автомобиля и уменьшается срок службы шин.

При нормальном внутреннем давлении шины с высокими грун-

гозацепами не обеспечивают движения по рыхлым, заболоченным и другим тяжелым грунтам, так как они зарываются в грунты, обладающие низкой несущей способностью. В таких дорожных условиях эффективно применение арочных шин, шин с регулируемым давлением воздуха, обычных и широкопрофильных, и др. Шины этих конструкций в последнее время находят все более широкое распространение на автомобилях и самоходных машинах, обеспечивая высокую проходимость в тяжелых дорожных условиях.

Шины с регулируемым давлением воздуха находят широкое применение на автомобилях, работающих как в условиях дорог с твердыми покрытиями, так и на мягких грунтах различного вида и состояния, т. е. область применения этих шин охватывает фактически все многообразие перевозок, производящихся в смешанных дорожных условиях. Однако применение этих шин связано с оборудованием автомобиля специальной системой централизованной подкачки.

Арочные шины найдут применение в условиях работы автомобилей и самоходных машин по мягким, заболоченным и другим тяжелым грунтам. Однако применение этих шин в условиях движения по твердым дорогам нецелесообразно ввиду довольно значительного ухудшения при этом эксплуатационных качеств автомобиля, уменьшения скорости движения, перерасхода топлива, повышенного износа деталей и малой долговечности самих шин. Применение арочных шин не требует переоборудования автомобиля, и поэтому представляется целесообразным использовать арочные шины как сезонное средство в периоды весенней и осенней распутицы. В другое время года автомобиль должен работать на обычных шинах. В случаях же постоянной работы автомобильного транспорта по рыхлым и переувлажненным грунтам можно использовать арочные шины без замены их обычными.

Широкопрофильные шины, предназначенные для плохих дорог, имеют преимущества перед обычными шинами как при работе в условиях усовершенствованных покрытий, так и при движении по мягким грунтам. Применение широкопрофильных шин весьма выгодно экономически.

Недостатком широкопрофильных шин является отсутствие взаимозаменяемости шин на передних и задних колесах автомобиля.

Шины с регулируемым давлением воздуха

С 1950 г. шинной промышленностью выпускаются шины с регулируемым давлением воздуха³⁸. Эти шины предназначены для работы на автомобилях, оборудованных специальным устройством, позволяющим на ходу изменять давление воздуха в шинах, снижая его при движении по мягким грунтам до $0,7-0,5 \text{ кгс/см}^2$.

При этом площадь контакта шины с дорогой резко увеличивается, соответственно уменьшается давление на грунт. Тем са-

мым создаются условия для движения по труднопроходимой мягкой грунтовой дороге. Тяговое усилие реализуется при этом благодаря большой поверхности опоры шины и применению грунтозацепов.

Для того чтобы при кратковременной работе со сниженным до $0,5—0,7 \text{ кг/см}^2$ давлением шина не получала повреждений,

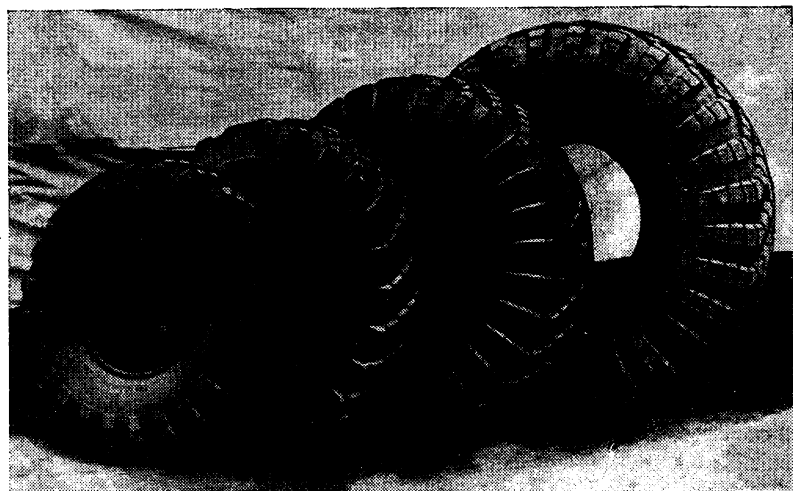


Рис. 205. Шины с регулируемым давлением (разных размеров).

резко уменьшающих ее работоспособность, размеры шины должны быть достаточно большими.

Ширина профиля шин с регулируемым давлением на 25—40% больше, чем ширина рассчитанных на ту же нагрузку обычных шин.

В связи с этим нормальное внутреннее давление в этих шинах в 1,5—2 раза ниже, чем в обычных. Во столько же раз уменьшается и число слоев корда по сравнению с обычными шинами такого же размера.

Для повышения гибкости каркаса шины в него включается большое количество прослоек из мягкой резины.

Рисунок протектора шин с регулируемым давлением выполняется с высокими расчлененными грунтозацепами и широкими впадинами между ними. В ряде моделей шин углы беговой дорожки скруглены и грунтозацепы выходят на боковую стенку шины для улучшения сцепления ее с грунтом при движении на сниженном давлении.

Некоторые конструкции шин с регулируемым давлением, разработанные в НИИ шинной промышленности, представлены на

рис. 205. Основные данные по этим шинам приведены в табл. 3 Приложения.

Шины с регулируемым давлением выпускаются как камерными, так и бескамерными.

Основные преимущества бескамерных шин—возможность продолжения движения при проколе и облегченный тепловой режим

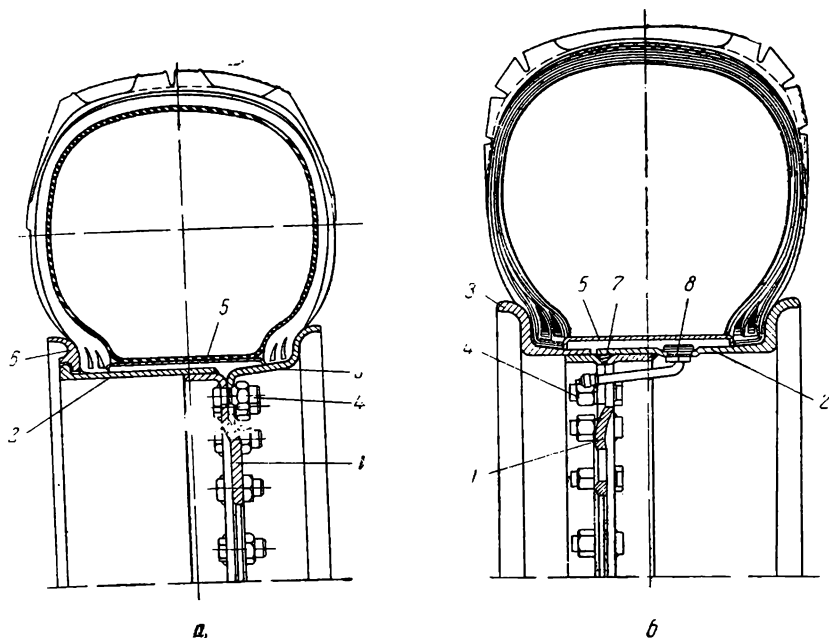


Рис. 206. Шины с регулируемым давлением, смонтированные на разъемных ободах:

а—камерная; *б*—бескамерная. 1—диск обода; 2—внутренняя часть обода; 3—наружная часть обода; 4—шпилька крепления; 5—распорное кольцо; 6—съемная закраина; 7—уплотнительное резиновое кольцо; 8—вентиль.

работы—имеют особенно важное значение для шин с регулируемым давлением.

Для камерных шин с регулируемым давлением воздуха применяются съемные дисковые колеса с разъемным ободом. На рис. 206, *а* показана шина, смонтированная на таком обode.

В настоящее время применяется ряд таких колес, имеющих обода шириной от 6,5" (165 мм) и до 17" (432 мм); посадочный диаметр ободов от 16" (460 мм) до 28" (711 мм).

Колесо состоит из диска 1 и обода, внутренняя часть которого 2 приварена к диску, а наружная 3 привернута к диску шпильками 4. Колесо имеет распорное кольцо 5 и съемную закраину 6 внутренней части обода. Конические полки обода выполнены с уклоном 5°.

Борта шины зажимаются между внутренним распорным кольцом и бортовыми кольцами при помощи шпилек 4.

Такая система установки бортов шин с регулируемым давлением воздуха обеспечивает надежное крепление их при сниженном давлении в шине, когда давление воздуха недостаточно для надежного прижатия борта шины к закромине обода.

Для бескамерной шины обод должен быть герметичным, так как вместе с шиной он непосредственно замыкает воздушную полость. Конструкция такого обода представлена на рис. 206, б.

Герметичность бескамерной шины и колеса обеспечивается плотной посадкой бортов шины на ободе и уплотнительным кольцом 7. Это резиновое кольцо закладывается в паз, образуемый внутренней частью обода 2 и диском колеса.

При монтаже шины на обод резиновое уплотнительное кольцо, заложенное предварительно в паз, зажимается торцом наружной части обода 3. Вентиль 8 крепится непосредственно на ободе и уплотняется резиновыми шайбами.

Имеющаяся на автомобилях центральная система регулирования давления воздуха позволяет во время движения автомобиля изменять давление воздуха в шинах в зависимости от дорожных условий.

В случае прокола или другого небольшого повреждения шины эта система обеспечивает возможность движения автомобиля за счет непрерывной подачи воздуха в шину. Водитель имеет возможность на ходу по манометру наблюдать за давлением воздуха в шинах и регулировать его при отклонении от заданного значения.

Имеются системы регулирования давления воздуха с внутренним и внешним по отношению к колесу расположением воздухопроводов.

При внешнем расположении воздухопроводов имеется опасность повреждения воздухопроводов в эксплуатации вследствие наличия частей, выступающих за габаритные размеры автомобиля. Затрудняется также монтаж и демонтаж колес.

В связи с указанными недостатками системы регулирования давления воздуха с внешним расположением воздухопроводов в настоящее время более широкое распространение получила система регулирования давления с внутренним подводом воздуха.

Устройство внутреннего подвода воздуха показано на рис. 207. Воздух по сверлению в цапфе поступает в кольцевую полость 1, уплотненную манжетами 2 и оттуда по трубке 3 к вентилю шины.

Система регулирования давления в шинах подключается к тормозной системе автомобиля через специальный клапан, который разъединяет эти две системы при падении давления в тормозной системе ниже нормы, обеспечивающей работу тормозов, а также через обратный клапан, предотвращающий выпуск воздуха из шин в общую воздушную систему.

Центральный кран системы управления давлением позволяет сообщать эту систему с воздушным баллоном для надувки шин или с атмосферой для выпуска воздуха. В нейтральном положении этого крана система регулирования давления изолирована.

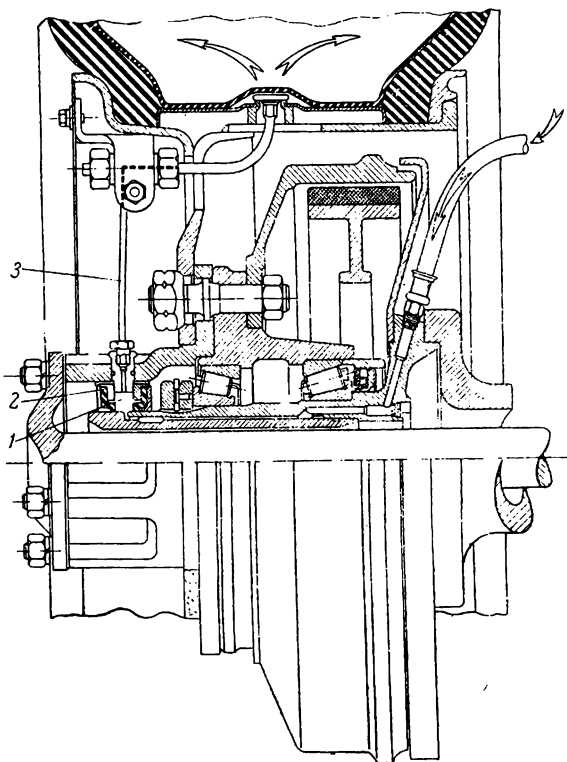


Рис. 207. Устройство подвода воздуха к шине:
1—кольцевая полость; 2—уплотнительные манжеты; 3—трубка.

На общей магистрали стоит манометр, указывающий давление в шинах, а также устройство, включающее сигнальную лампу при падении давления в шинах ниже $0,5 \text{ кгс/см}^2$ и при повышении его более $3,5 \text{ кгс/см}^2$. Кроме центрального крана, в системе регулирования предусмотрены также краны, позволяющие изолировать от системы каждую из шин (например, при ее пробое).

Рассмотрим основные характеристики шин с регулируемым давлением.

На рис. 208 показано увеличение площади контакта при снижении давления в шине. Центральная часть рисунка (а) представляет собой площадь контакта шины на твердых дорожных покрытиях при нормальном давлении. При снижении давления до

0,5 кгс/см² площадь контакта сильно возрастает (б). Еще больше площадь контакта при сниженном давлении на мягком грунте (в). С увеличением площади контакта соответственно снижается давление на грунт. Автомобиль на шинах с регулируемым давлением воздуха не проваливается на мягком грунте, как автомобиль на обычных шинах, и колеса не «зарываются».

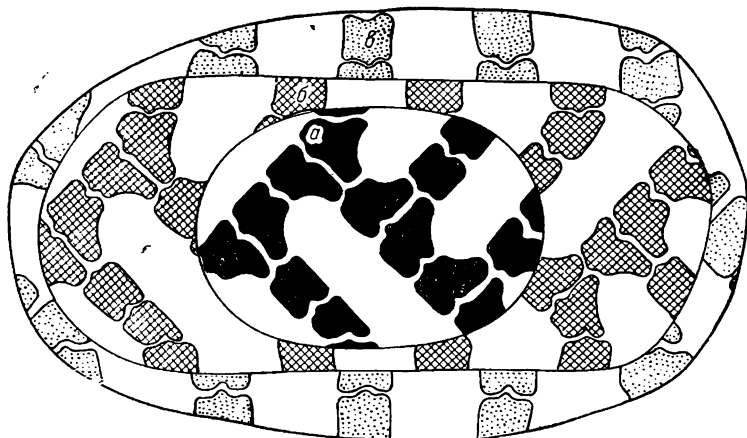


Рис. 208. Площадь контакта с дорогой одной шины 12,00—18 с регулируемым давлением:

а—давление 3,0 кгс/см², твердое покрытие; б—давление 0,5 кгс/см², твердое покрытие; в—давление 0,5 кгс/см², мягкий грунт.

Величина давления в площади контакта шины с грунтом представляет особый интерес, так как в значительной степени определяет проходимость автомобиля. На рис. 209 показана зависимость среднего давления в площади контакта шины с твердым покрытием и с мягким грунтом от внутреннего давления в шине.

При работе шины на твердом дорожном покрытии давление на грунт в 1,5—2 раза больше, чем давление воздуха в шине. При качении шины по мягкому грунту и сниженном внутреннем давлении давление на грунт почти равно давлению воздуха. При нормальном внутреннем давлении оно ниже, чем давление воздуха в 1,5—2 раза, что объясняется внедрением шины в грунт и значительным увеличением при этом площади контакта с дорогой, поскольку в контакт входят боковые поверхности шины. Наименьшая величина среднего давления на грунт (до 0,6—0,8 кгс/см²) имеет место при минимальном внутреннем давлении в шине.

Распределение давления по площади контакта позволяет судить о фактическом взаимодействии шины с грунтом в различных местах опоры.

Давление в площади контакта шины 12,00—18 с твердой поверхностью наиболее равномерно распределяется при внутреннем

давлении $2,0 \text{ кгс/см}^2$. Наибольшая неравномерность в распределении давления в площади контакта шины с твердой поверхностью наблюдается при внутреннем давлении $0,5 \text{ кгс/см}^2$, при этом давление по центру контакта составляет $1,5\text{—}2 \text{ кгс/см}^2$, а максимальное давление по краю контакта достигает $10\text{—}12 \text{ кгс/см}^2$.

При нормальном внутреннем давлении ($3,0 \text{ кгс/см}^2$) давление в площади контакта имеет максимальное значение в центре беговой дорожки ($9\text{—}10 \text{ кгс/см}^2$).

Замеры распределения давления в контакте шины с мягким грунтом показали, что наиболее равномерно давление распределяется при давлении воздуха в шине $0,5 \text{ кгс/см}^2$ и составляет $2,5\text{—}3,0 \text{ кгс/см}^2$. При увеличении внутреннего давления максимум давления на грунт располагается в центральной части контакта и достигает при давлении $2,0 \text{ кгс/см}^2\text{—}5 \text{ кгс/см}^2$, а при давлении $3,0 \text{ кгс/см}^2\text{—}до 8\text{—}9 \text{ кгс/см}^2$.

Пройодимость автомобиля определяется, как было показано выше, соотношением между величиной возможного сцепления с грунтом тягового усилия на ведущих колесах и силой сопротивления качению колес.

На рис. 210 показана зависимость коэффициентов сцепления шины с мягким грунтом (песок) и сопротивления качению при движении по такому грунту от давления воздуха в шине. Коэффициент сцепления ϕ увеличивается при уменьшении давления, что объясняется увеличением площади срезаемого грунта* и поверхности трения. Коэффициент сопротивления качению f , а следовательно, и усилие, необходимое для качения колес, с уменьшением давления воздуха уменьшается, поскольку на мягком грунте при снижении давления воздуха резко уменьшается затрата работы на образование колес. Отметим, что зависимость коэффициента сопротивления качению от давления для качения по твердому покрытию совершенно иная; в этом случае снижение давления приводит к росту потерь на качение.

* Площадь срезаемого грунта представляет собой площадь основания грунта, заключенного между выступами протектора.

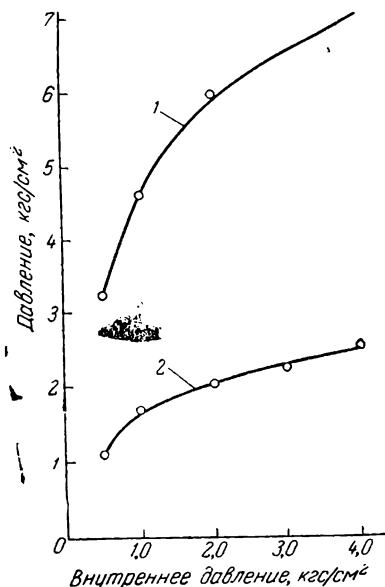


Рис. 209. Зависимость среднего давления в площади контакта от внутреннего давления в шине 12,00—18:

1—на твердом покрытии; 2—на мягком грунте (песок).

Таким образом, со снижением давления в шине на мягком грунте увеличивается сцепление ее с грунтом и уменьшаются потери на качение. И то и другое приводит к существенному увеличению проходимости автомобиля.

Условия работы шин с регулируемым давлением очень напряженные, поскольку они часто работают при пониженном давлении, когда сильно увеличивается деформации. У большинства обычных шин радиальный прогиб равен 10—14% от высоты профиля; у шин с регулируемым давлением воздуха при пониженном давлении прогиб значительно больше и достигает 35—40% от высоты профиля. Увеличение прогиба приводит к резкому возрастанию деформаций сжатия нитей корда. Кроме того, увеличение деформаций вызывает повышенный нагрев шины при работе.

Поэтому долговечность шин с регулируемым давлением, как правило, ниже, чем обычных шин. Увеличение долговечности может быть достигнуто применением улучшенных материалов и, в частности, полиамидного корда. Долговечность шин в большой мере зависит также от точного соблюдения правил их эксплуатации. Работа шин на пониженном

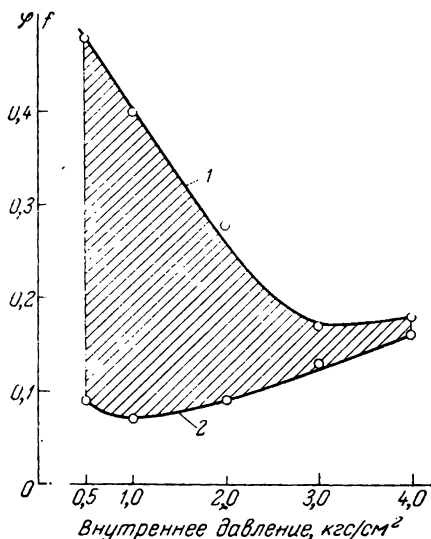


Рис. 210. Зависимость коэффициента сцепления (1) и коэффициента сопротивления качению (2) от внутреннего давления при качении шины по мягкому грунту.

давлением допускается только при невысоких скоростях движения по мягким грунтам. Снижение давления производится в соответствии с табл. 12.

Таблица 12

Нормы внутреннего давления и скорости для различных условий эксплуатации

Характеристика дорог	Давление воздуха в шинах кгс/см ²	Скорость движения автомобилей км/ч
Дороги с твердым покрытием и укатанные грунтовые	Нормальное давление	Без ограничения
Неукатанные грунтовые дороги, целина с дерновым покровом, плотный песок	1,5—2,0	до 20
Заболоченные участки, снежная целина, рыхлый песок	0,5—0,8	до 10

Во избежание чрезмерного нагрева шин и возникновения больших напряжений сжатия ни в коем случае не допускается снижение давления воздуха в шинах ниже минимального давления, указанного в табл. 12.

При снижении внутреннего давления особо тщательно должны соблюдаться нормы нагрузки автомобиля.



Рис. 211. Кольцевой излом каркаса шины с регулируемым давлением.

При неправильной эксплуатации шин может произойти характерный для шин с регулируемым давлением кольцевой излом каркаса (рис. 211).

Арочные шины

Проходимость грузовых автомобилей и самоходных машин может быть повышена путем применения арочных шин (см. рис. 10, стр. 18). При высоте профиля и наружном диаметре, принятых для обычных шин, арочные шины имеют в 2—2,5 раза большую ширину профиля. Профиль арочной шины показан на рис. 212. Ширина профиля в 2—3 раза превышает его высоту.

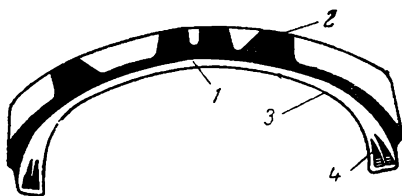


Рис. 212. Профиль арочной шины: 1—каркас; 2—протектор; 3—герметизирующий слой; 4—бортовые кольца.

Форма площади контакта арочной шины с дорогой близка к кругу, и ее величина значительно больше, чем площадь контакта обычной автомобильной шины. Большая площадь соприкосновения шины с грунтом, низкое внутреннее давление, наличие высоких редко расположенных грунтозацепов обеспечивают высокое сцепление шины с грунтом.

Арочные шины могут устанавливаться на стандартные автомобили и другие самоходные машины.

На грузовых автомобилях одна арочная шина применяется вместо двоярных шин (рис. 213).

Основные данные по выполненным к настоящему времени конструкциям арочных шин приведены в табл. 4. Приложения.

Арочные шины изготавливаются бескамерными и обладают поэтому всеми преимуществами бескамерных шин. Так как арочные шины работают при больших деформациях (радиальный прогиб достигает 25—30% высоты профиля), то при движении автомобиля с высокой скоростью они сильно нагреваются. При этом

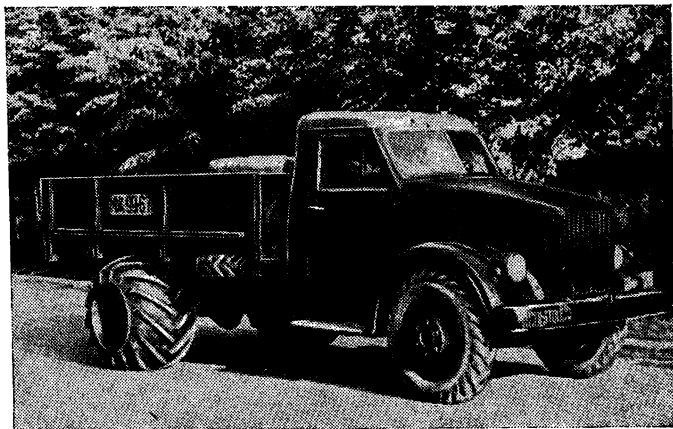


Рис. 213. Автомобиль ГАЗ-51 с арочными шинами на задних колесах.

улучшение теплоотдачи вследствие отсутствия камеры особенно существенно. В связи с низким внутренним давлением и большим радиальным прогибом каркас арочных шин изготавливается малослойным с применением полиамидного корда, отличающегося высокой усталостной прочностью. Для лучшего сцепления каркаса с брекером и протектором один—два слоя каркаса изготавливаются из разрезанного корда. Кордный брекер в этих шинах не применяется, так как имеется опасность его выпрессовки в массивные грунтозацепы. Между каркасом и протектором размещен резиновый брекер.

В надбортовой части шины предусматривается утолщение боковины в виде резиновой подушки. Резиновая подушка предотвращает попадание грунта, мелких камешков и других предметов в зазор между бортом шины и закраиной обода и одновременно яв

ляется амортизатором, смягчающим ударные нагрузки при ударах бортовой части о жесткие высокие препятствия.

Обычно в борте арочных шин устанавливается по два кольца, изготовляемых из одиночной стальной проволоки марки АП (диаметр проволоки 1 мм и разрывное усилие 160—180 кгс/см²). Посадочный диаметр шины принимается на 1—2 мм меньше диаметра полки обода, что обеспечивает плотную посадку шины на полку обода.

Так же как и для шин с регулируемым давлением, для арочных шин необходимо двухстороннее крепление борта на ободе. Для этой цели применяются специальные герметичные дисковые обода со съемными наружными кольцами (см. рис. 24, б стр. 29).

Борта шины закрепляются на ободе между внутренней частью обода и съемными коническими полками обода. Герметизация шины обеспечивается плотным прилеганием внутренней части обода к бортам шины.

Рисунок протектора арочных шин выполняется обычно в виде «косой елки» большой глубины с редко расположенными грунтозащепами. Такой рисунок обеспечивает хорошее сцепление шины с мягким грунтом и легко самоочищается.

Глубина рисунка протектора арочных шин для стандартных грузовых автомобилей лежит в пределах 35—40 мм. Дальнейшее увеличение глубины рисунка не способствует значительному повышению сцепления шин с дорогой.

Исследования показали, что проходимость автомобиля ЗИЛ-164, оборудованного арочными шинами 1140×700 модели Я-170 с глубиной рисунка протектора 40 мм, на большинстве видах грунтовых дорог такая же, как и на шинах с глубиной рисунка 60 мм. Глубина рисунка протектора шин малых размеров, предназначенных для работы при скоростях свыше 70 км/ч, не превышает 20 мм. Хотя увеличение глубины рисунка свыше 20 мм и способствует повышению проходимости, однако одновременно увеличивается теплообразование в шине, что приводит к уменьшению ее долговечности.

Рисунки протекторов арочных шин можно разделить на две группы—с открытым центром и с закрытым центром.

К первой группе (рис. 214, а) относятся рисунки протектора, не имеющие непрерывного кольца выступов посередине беговой дорожки, причем элементы рисунка левой стороны не связаны с элементами рисунка правой стороны беговой дорожки шины.

Ко второй группе (рис. 214, б) относятся рисунки протектора с непрерывным кольцом посередине беговой дорожки.

Рисунки протектора с открытым центром обеспечивают лучшую проходимость автомобиля, но на твердой дороге автомобиль на шинах с таким рисунком движется неравномерно.

Форма и расположение грунтозацепов по беговой дорожке шины оказывают существенное влияние на жесткость шины.

Экспериментально установлено, что жесткость арочных шин, имеющих рисунок протектора с закрытым центром, на 15—20% выше жесткости шин, имеющих рисунок протектора с открытым центром.

Применение арочных шин обеспечивает столь высокую проходимость стандартного автомобиля, которая на обычных шинах

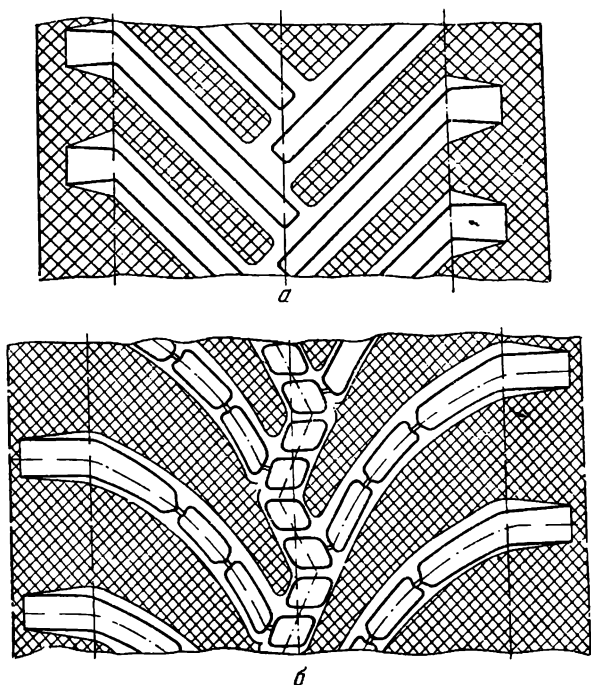


Рис. 214. Рисунки протектора арочных шин:
а—с открытым центром; б—с закрытым центром.

не может быть достигнута ни при использовании цепей противоскольжения, ни при наличии всех ведущих колес автомобиля.

Это объясняется прежде всего большой площадью контакта шины с грунтом и низким средним давлением шины на грунт.

Площадь контакта арочной шины с дорогой в 2,5—4,0 раза больше, чем общая площадь контакта сдвоенных шин, которые заменяются одной арочной шиной. Так, например, площадь контакта арочной шины 1000×650 составляет 1980 см^2 , суммарная площадь контакта двух шин $7,50-20$, вместо которых она устанавливается, составляет 500 см^2 .

Среднее давление в площади контакта арочной шины с дорогой в 2—3 раза меньше, чем для обычных шин. Среднее давление

арочных шин, определенное в результате обжатия шины на твердую опорную поверхность при эксплуатационных значениях внутреннего давления и нагрузки, лежит в пределах 0,9–1,5 кгс/см². Для обычных грузовых шин оно составляет около 4,0 кгс/см².

Повышение сцепления арочной шины на переувлажненных грунтах обеспечивается специальной конструкцией рисунка протектора. Высокие и редко расположенные грунтозацепы, прорезая мягкие слои грунта, внедряются в более плотные слои грунта, обеспечивая надежное сцепление. Между грунтозацепами захватывается и уплотняется большой объем грунта, в результате чего резко снижается вероятность срыва почвы.

Вес грунта, располагаемый между грунтозацепами, превышает силу его прилипания к поверхности шины, что обеспечивает хорошую самоочищаемость рисунка протектора.

Эксперименты показали, что при движении автомобиля ГАЗ-51 на арочных шинах 1000×650 по песку максимальная тяговая сила в 3,5 раза больше, чем для того же автомобиля на обычных шинах 7.50—20 (модель Я-44).

При движении автомобиля ГАЗ-51 с арочными шинами по переувлажненной суглинистой дороге сила тяги в 8 раз больше, чем у автомобиля с обычными шинами. Грузовой автомобиль с арочными шинами на задних колесах может надежно передвигаться по мягкому переувлажненному грунту, жидкой грязи, сухому песку, заснеженной целине. При движении по жидкой грязи глубиной до 500 мм в период весенней распутицы, по глинистой, разбитой, сильно переувлажненной дороге в период затяжных дождей или осенней распутицы автомобили ЗИЛ-164 и ГАЗ-51 на арочных шинах 1140×700 и 1000×600 соответственно могли уверенно двигаться со скоростью до 12 км/ч. Они могут также преодолевать неглубокие (1,0—1,2 м) водоемы с песчаным или илистым дном, заболоченную луговину и т. п. В этих условиях стандартные грузовые автомобили на обычных шинах передвигаться не могут. Необходимо, однако, отметить, что во время движения по переувлажненному мягкому грунту арочные шины интенсивно разрушают поверхностные слои грунта, перемешивая его с влагой. На песчаных участках проходимость автомобиля с арочными шинами выше, чем на обычных шинах, однако по мелкому очень сухому песку автомобиль движется неуверенно.

В зимних условиях проходимость автомобиля с арочными шинами также значительно выше, чем на обычных автомобильных шинах с цепями и без цепей. На снежной целине при любом состоянии снега (мокрый снег, со слоем наста) автомобиль уверенно движется при глубине снега 300÷400 мм. Основной причиной потери проходимости на более глубоком снегу является большое сопротивление качению передних колес, а на сыром снегу—образование плотного снежного вала перед бампером маши-

ны. На сухом рыхлом снегу, сопротивление которого значительно меньше, чем сырого снега или снега со слоем наста, автомобиль сохраняет способность к движению при глубине снега до 500 мм.

При движении по скользким обледенелым дорогам автомобили, оборудованные арочными шинами, более чувствительны к боковым заносам, чем автомобили с обычными шинами.

Большим недостатком арочных шин является неравномерный и интенсивный износ рисунка протектора (особенно при движении автомобиля по дорогам с твердым покрытием). Наибольшее истирание наблюдается в зонах, расположенных примерно по середине между центром и краем беговой дорожки шины (рис. 215), в отличие от шин обычной конструкции, где наиболее интенсивно истирается середина беговой дорожки.

Как правило, рисунок протектора изнашивается неравномерно не только по ширине беговой дорожки, но и по ширине самого элемента рисунка. На грунтозацепе быстрее истирается задняя кромка, т. е. кромка, которая позднее входит и выходит из контакта.

Неравномерный износ рисунка протектора наблюдается у арочных шин, имеющих рисунки протектора как с открытым центром, так и с закрытым

центром, а также шашечного типа (с отношением площади выступов к общей площади шины 70%) и не зависит от степени насыщения рисунка выступами.

Такой характер износа протектора объясняется неравномерным распределением давления и проскальзывания элементов рисунка по площади контакта шины с дорогой.

Низкий профиль арочных шин и очень жесткий борт создают неблагоприятные условия работы боковины шины и обода колеса. В случае наезда на препятствия боковой частью шины в последней возникают значительные местные концентрации нагрузок, приводящие к механическому повреждению (вырыву) покровного слоя резины в надбортовой части. Особенно часто такое разрушение боковины можно наблюдать при эксплуатации шин в период весенне-осенних заморозков. Обычно арочные шины шире стан-



Рис. 215. Характерный износ протектора арочной шины.

дартных сдвоенных колес автомобилей. Поэтому при движении по колее, образованной сдвоенными колесами, только часть арочной шины размещается в колее. Края шины катятся по кромке колеи. В период заморозков кромки колеи становятся жесткими и вызывают разрушение резины боковины.

Пневмокатки

Применение пневмокатков позволяет резко повысить проходимость машин в условиях грунтов с низкой несущей способностью: по снегу, рыхлому песку, пахоте.

Пневмокатки отличаются от обычных автомобильных шин как по внешнему виду (см. рис. 13, стр. 19), так и по основным кон-

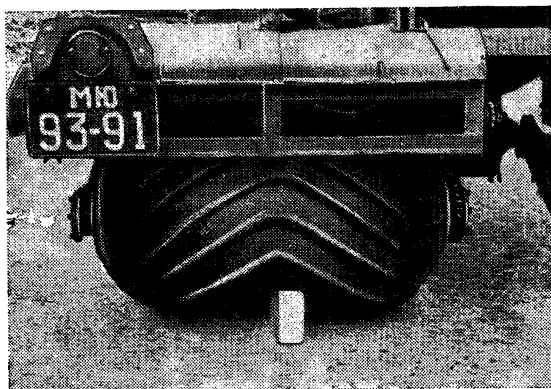


Рис. 216. Пневмокаток «обтекает» препятствие.

структивным соотношениям. Эти шины имеют большую ширину профиля при сравнительно небольшом наружном и очень малом посадочном диаметрах. Для обычных шин отношение ширины профиля к наружному диаметру (B/D) находится в пределах 0,3—0,2, для пневмокатков оно лежит в пределах 1,0—2,0.

Отношение наружного диаметра к посадочному D/d для пневмокатков равно примерно 4 : 1, в то время как для обычных автомобильных шин—приблизительно 2 : 1.

Работа пневмокатков рассчитана на значительный прогиб при рабочих нагрузках—до 35% от высоты профиля.

Пневмокатки, изготавливаются с малыми числами слоев корда (2—4 слоя).

Внутреннее давление воздуха в пневмокатках весьма низкое (0,2—0,7 кгс/см²) и регулируется в зависимости от характера

местности. Давление шин на грунт лежит в пределах 0,2—0,7 кгс/см². Низкое внутреннее давление воздуха в шине и большая ширина профиля обеспечивают большую площадь контакта и хорошее сцепление шины с дорогой, что дает возможность реализовать большие тяговые усилия. Тонкий каркас и небольшое давление воздуха в пневмокатках делают его эластичным, что позволяет ему обтекать неровности дороги (рис. 216) и хорошо сопротивляться ударам и проколам. Поэтому пневмокатки могут также успешно применяться для работы по каменистому грунту. Большой объем воздуха в пневмокатках и большая эластичность их позволяют в некоторых случаях отказаться от упругих элементов в подвеске автомобилей.

ШИРОКОПРОФИЛЬНЫЕ ШИНЫ

Широкопрофильные шины³⁹ (см. рис. 11 и 12, стр. 18, 19) первоначально предполагалось использовать лишь как средство повы-



Рис. 217. Автомобиль на широкопрофильных шинах на задних колесах.

шения проходимости автомобилей. Однако в дальнейшем выявилась возможность применения этих шин и для обычных автомобилей, эксплуатируемых в смешанных дорожных условиях.

На двухосных грузовых автомобилях большей частью одна широкопрофильная шина заменяет пару обычных сдвоенных шин на задней оси. На передней оси сохраняются обычные шины (рис. 217).

Широкопрофильные шины обеспечивают высокую проходимость автомобиля по плохим дорогам при сохранении высоких эксплуатационных качеств его и на дорогах с твердым покрытием.

Широкопрофильные шины имеют меньшие, чем обычные, потери на качение и позволяют благодаря этому снизить расход топлива.

Вес колеса с широкопрофильной шиной существенно меньше, чем вес заменяемых им сдвоенных колес с обычными шинами.

Неудобством при эксплуатации широкопрофильных шин является отсутствие взаимозаменяемости шин на передних и задних колесах автомобиля.

В качестве запасного колеса на автомобилях используются колеса с обычными шинами. При выходе из строя широкопрофильной шины соответствующее колесо заменяется запасным и автомобиль продолжает движение до гаража, имея с одной стороны обычную, с другой—широкопрофильную шину.

Поэтому все широкопрофильные шины конструируются таким образом, чтобы они имели такой же радиус качения, как и заменяемые ими обычные шины.

Каркас широкопрофильных шин отличается от каркаса обычных шин увеличенным углом нитей корда по экватору, что позволяет получить уширенную равновесную конфигурацию. Конструкция бортовой части—обычная.

По внешнему очертанию протектора шины изготавливаются в двух вариантах: однопорожечные (рис. 218, а) и двухпорожечные (рис. 218, б). Предполагается, что при движении шины с двойной беговой дорожкой (рис. 218, б) по мягкому грунту последний уплотняется в средней части контакта, что способствует улучшению сцепления.

На рис. 219 показано сравнение конфигурации широкопрофильной шины и заменяемых ею обычных сдвоенных шин. Как видно из рисунка, при замене устраняются две боковые стенки шины. Таким образом, по расходу материалов широкопрофильные шины выгоднее обычных. Весовая экономичность шин может быть охарактеризована отношением нормальной нагрузки на шину к ее собственному весу. Для широкопрофильных шин этот показатель на 20—25% выше, чем для обычных, и на 10—15% выше, чем для арочных шин.

Разработка широкопрофильных шин для грузовых автомобилей началась в 1958—1959 гг. и к настоящему времени выявились три основных направления в конструировании таких шин: разрабатываются шины универсального назначения, шины повышенной экономичности и шины высокой проходимости для использования на автомобилях с системой регулирования давления в шинах.

Универсальные шины предназначены для замены задних сдвоенных шин на стандартных автомобилях, эксплуатируемых

-в смешанных дорожных условиях. Эти шины обеспечивают повышение эксплуатационных свойств автомобиля при работе как на твердых дорогах, так и на грунтовых. Они дают 10—15% экономии материалов.

Отношение высоты профиля универсальных шин к ширине составляет $0,6 \div 0,75$. Ширина беговой дорожки принимается в

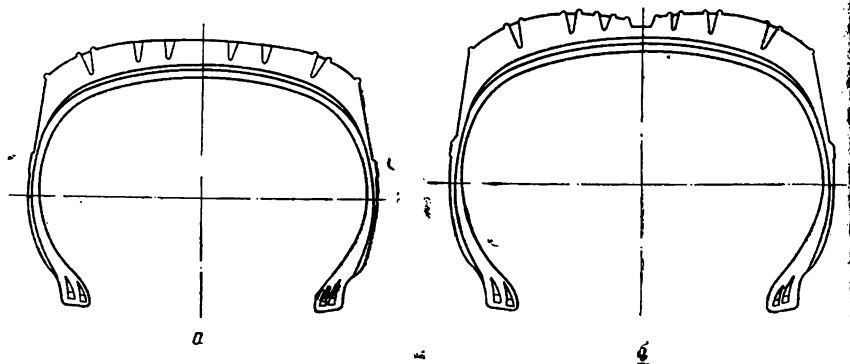


Рис. 218. Профиль широкопрофильной шины:
а—обычная; б—с двойной беговой дорожкой.

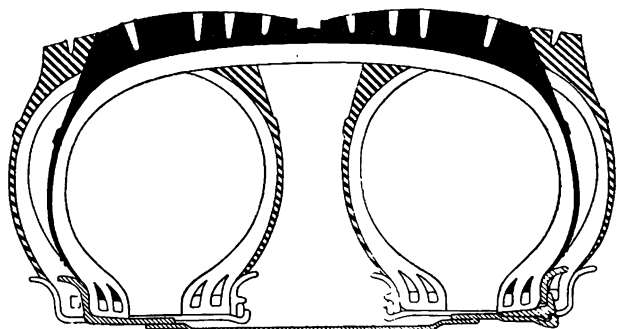


Рис. 219. Сравнение стандартных шин 260—20 модели И-202 и заменяющей их универсальной широкопрофильной шины 1100×500—508 модели ИМ-94 (разрез).

пределах $0,8 \div 0,9$ от ширины профиля, стрела протектора $0,08 \div 0,12$ от ширины беговой дорожки, ширина обода $0,8 \div 0,85$ от ширины профиля.

Внутреннее давление в универсальных шинах устанавливается несколько более низким, чем в заменяемых ими обычных, так чтобы радиальный прогиб шины при нормальном режиме составлял $0,14 \div 0,16$ от высоты профиля.

Рисунок протектора универсальных шин, как правило, комбинированный: в средней части беговой дорожки—дорожный,

по краям располагаются высокие грунтозацепы, увеличивающие проходимость по грунтовым дорогам и бездорожью.

Отношение площади выступов к общей площади беговой дорожки (насыщенность рисунка) $0,5 \div 0,55$. Глубина рисунка протектора несколько больше, чем для обычных шин, но не превышает $25 \div 30$ мм.

Учитывая необходимость передачи шиной значительных тяговых нагрузок, ее сажают на обод со значительным натягом ($2 \div 4$ мм).

Шины повышенной экономичности имеют меньшие размеры и меньшую толщину протектора, чем соответствующие универсальные; внутреннее давление в них более высокое, а прогиб меньше.

Эти шины предназначены для автомобилей, эксплуатируемых преимущественно на дорогах с твердым покрытием. Они позволяют получить 20—25% экономии шинных материалов.

Конструктивные соотношения для этих шин примерно таковы: отношение высоты профиля к ширине $0,75 \div 0,85$; отношение ширины беговой дорожки к ширине профиля $0,75 \div 0,85$; стрела протектора $0,02 \div 0,05$ от ширины беговой дорожки; отношение ширины обода к ширине профиля $0,75 \div 0,80$.

Радиальная деформация этих шин составляет $0,12 \div 0,14$ от высоты профиля.

Рисунок шин повышенной экономичности—дорожный с максимальной глубиной $20 \div 25$ мм и насыщенностью $65 \div 80\%$. Натяг по пятке борта этих шин— $1,5 \div 2,5$ мм.

Широкопрофильные шины для автомобилей с централизованной системой регулирования давления допускают кратковременное снижение давления до $0,5$ кгс/см² при преодолении труднопроходимых участков пути. Эти шины отличаются от обычных шин с регулируемым давлением в основном формой профиля, которая характеризуется отношением $\frac{H}{B}$ в пределах $0,55 \div 0,8$.

Ширина беговой дорожки принимается равной $0,8 \div 0,9$ от ширины профиля, стрела протектора $0,08 \div 0,12$ от ширины беговой дорожки, отношение ширины обода к ширине профиля $0,8 \div 0,85$. Нормальное внутреннее давление выбирается таким образом, чтобы радиальный прогиб составлял $0,15 \div 0,18$ от высоты профиля.

Рисунок протектора с грунтозацепами типа «елка», «косая елка» и т. п. Глубина рисунка $20—30$ мм, насыщенность $35 \div 45\%$.

Для большей эластичности грунтозацепы расчленяются на отдельные элементы канавками глубиной около $\frac{2}{3}$ глубины рисунка. Шины монтируются на обода с распорными кольцами.

В настоящее время наиболее полно исследована работа универсальных широкопрофильных шин. Ниже приводятся некоторые, характерные для этих шин зависимости.

На рис. 220 приведена зависимость площади контакта с опорой шины $1200 \times 500 - 508$ от внутреннего давления. При нормальном для этой шины внутреннем давлении $3,5 \text{ кгс/см}^2$ площадь ее контакта примерно в 1,3 раза больше, чем суммарная площадь контакта двух заменяемых ею шин $260 - 20$ при нормальном для них режиме.

На рис. 221 показана соответствующая зависимость для давления в зоне контакта. Меньшее, чем для обычных шин, давление способствует повышению проходимости автомобилей на широкопрофильных шинах.

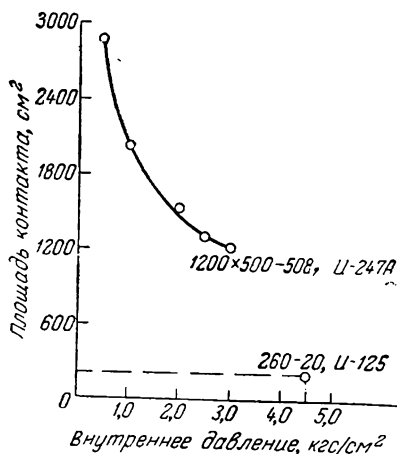


Рис. 220. Величины площади контакта широкопрофильной ($1200 \times 500 - 508$) и обычной ($260 - 20$) шин.

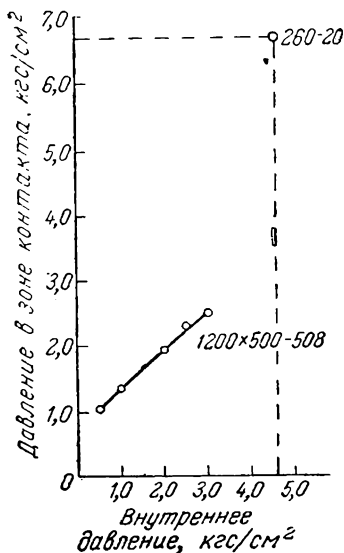


Рис. 221. Величины давления в зоне контакта широкопрофильной ($1200 \times 500 - 508$) и обычной ($260 - 20$) шин.

На рис. 222, а показана зависимость от внутреннего давления коэффициента сопротивления качению и силы сопротивления качению той же шины при движении по твердой дороге. Для сравнения на том же графике нанесены точки для обычной шины $260 - 20$ и для арочной шины 1140×700 .

Приведенные на рисунке данные свидетельствуют о том, что при нормальном режиме сопротивление качению широкопрофильной шины значительно меньше, чем обычных шин. С увеличением давления сопротивление качению уменьшается. На рис. 222, б приведена аналогичная зависимость при движении автомобиля по пахоте. В этом случае минимальные потери имеют место при внутреннем давлении $1,5 \text{ кгс/см}^2$. При увеличении давления потери увеличиваются в связи с увеличенной деформацией грунта. И в этом случае, даже при номинальном давлении $3,5 \text{ кгс/см}^2$,

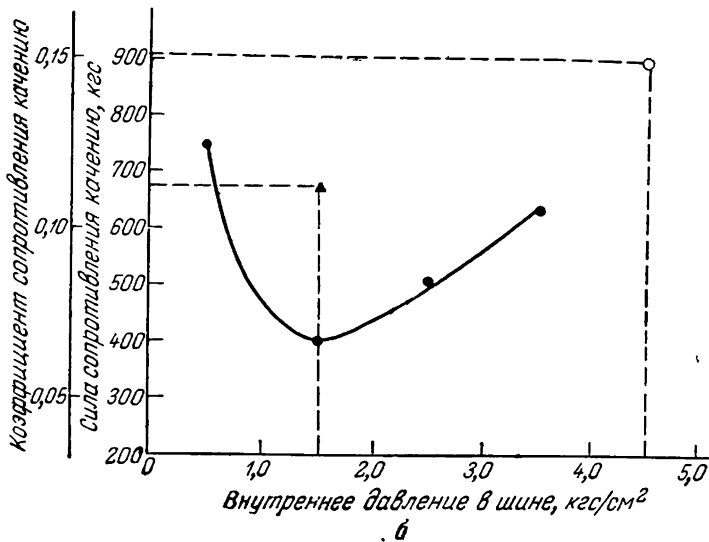
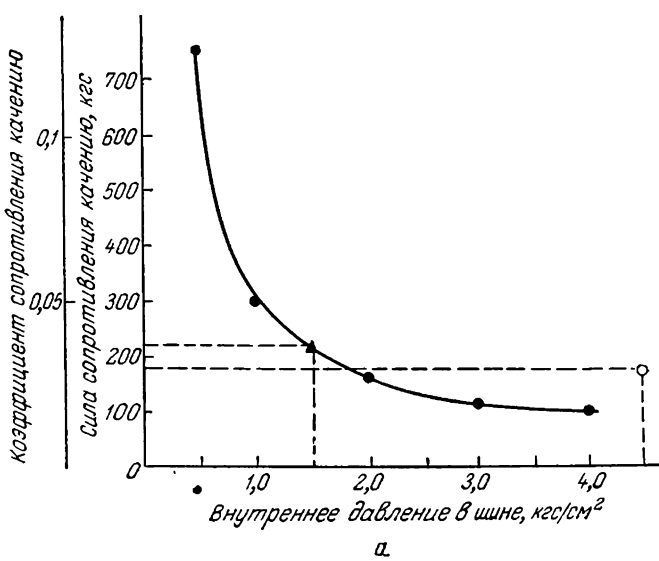


Рис. 222. Зависимость коэффициента сопротивления качению от внутреннего давления воздуха в шине:

а—асфальто-бетонное шоссе; б—пахота: ●—шина 1200×500—508, модель И-247А; ▲—шина 1140×700, модель Я-170.

широкопрофильная шина имеет существенное преимущество перед обычной и арочной.

Снижение потерь на качение широкопрофильных шин отражается и на расходе топлива. На рис. 223 показаны графики зависимости удельного расхода топлива от скорости движения автомобиля ЗИЛ-150 по асфальто-бетонному шоссе. Кривая 1 соответствует автомобилю на широкопрофильных шинах 1200×500—508;

кривая 2—на обычных шинах 260—20; кривая 3—на арочных шинах 1140×700.

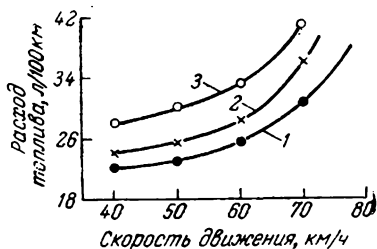


Рис. 223. Зависимость расхода топлива от скорости движения автомобиля ЗИЛ-150 (асфальто-бетонное шоссе):

1—на широкопрофильных шинах 1200×500—508, модель И-247А; 2—на шинах 260—20, модель И-202; 3—на арочных шинах 1140×700, модель Я-170.

При всех скоростях движения расход горючего при применении широкопрофильных шин снижается.

ШИНЫ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Прежде на сельскохозяйственных машинах устанавливались металлические колеса. Однако такие колеса в эксплуатации имеют ряд существенных

недостатков, и к настоящему времени они полностью заменяются пневматическими шинами. Пневматические шины по сравнению с металлическими колесами уменьшают образование колен, снижают потери на качение и расход горючего, повышают тяговые качества самоходных машин и их проходимость на мягких грунтах. Высокая эластичность пневматических шин дает возможность использовать колесные тракторы и прицепы на транспортных работах при повышенных скоростях (до 35 км/ч). Пневматические шины обеспечивают хорошую амортизацию толчков и ударов при движении, что приводит к уменьшению динамических нагрузок деталей машин и к улучшению условий работы обслуживающего персонала сельскохозяйственных машин.

Все это способствует повышению производительности машин. Так, по данным испытаний, проведенных в НАТИ, производительность колесного трактора с пневматическими шинами по сравнению с трактором на стальных колесах в среднем на 16—20% выше; при этом расход топлива на всех видах сельскохозяйственных работ снижается на 14—18%.

Рассмотрим основные особенности эксплуатации сельскохозяйственных шин. Сельскохозяйственные шины эксплуатируются на мягких грунтах (пахота, стерня и т. д.) или на грунтовых дорогах, которые существенно деформируются в площади кон-

такта с шиной, уменьшая тем самым радиальный прогиб шин, а следовательно, деформацию основных элементов шин.

Шины ведущих колес передают большие тяговые усилия. Скорость движения сельскохозяйственных машин сравнительно низкая: в большинстве случаев она не превышает 15 км/ч, и только на транспортных работах скорость движения машины достигает 25—35 км/ч.

Пневматические шины сельскохозяйственных машин не должны вызывать чрезмерного уплотнения почвы, так как в результате этого нарушается ее структура, что ухудшает агротехнические качества почвы. Кроме того, уплотненная почва требует повышенных затрат на обработку. Особенно нежелательно уплотнение увлажненной почвы.

Специальные требования предъявляются к шинам при эксплуатации их на междурядной обработке сельскохозяйственных культур. В Советском Союзе применяются междурядья шириной от 450—500 мм (свекла сахарная, просо, цикорий, хлопчатник и т. д.) до 600—700 мм (подсолнечник, табак, сорго, томаты, капуста, огурцы и т. д.). При этом минимальная защитная зона от следа колеса до линии ряда стеблей растений должна быть не менее 120—150 мм. Таким образом, для междурядий с шириной 400—500 мм ширина шины может быть не более 200—240 мм. Следует также отметить, что повреждение корневой системы растений может быть вызвано выступами протектора с глубоким рисунком.

По своему назначению сельскохозяйственные шины классифицируются следующим образом: шины ведущих колес; шины направляющих колес; шины несущих колес.

Шины ведущих колес (рис. 224) применяются на тракторах, самоходных сельскохозяйственных машинах, на колесах ведущих осей прицепов и обеспечивают, помимо восприятия радиальной нагрузки, создание значительного тягового усилия. Как правило, эти шины имеют большой наружный диаметр и рисунок протектора повышенной проходимости. Внутреннее давление воздуха в шинах лежит обычно в пределах 0,8—1,5 кгс/см² (в некоторых случаях до 3 кгс/см²), причем при работе на мягких грунтах выбирается внутреннее давление, равное 0,8—1,1 кгс/см², а на плотных грунтах—1,2—1,5 кгс/см². Характеристики шин ведущих колес и нормы нагрузок на эти шины приведены в Приложении (стр. 375).

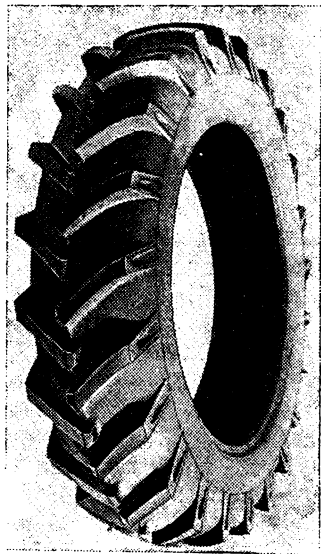
Шины направляющих колес (рис. 225) применяются на тракторах и самоходных сельскохозяйственных машинах и обеспечивают, помимо восприятия статической нагрузки, управляемость трактора и машины, «держание колес». Рисунок протектора шин направляющих колес имеет высокие продольные направляющие ребра и широкие канавки. Характеристика шин направляющих колес приведена в Приложении (стр. 376). Внутреннее давление

воздуха в шинах берется в пределах 1,1—2,5 кгс/см² (некоторые модели до 3,5 кгс/см²).

Нормы нагрузок на шины ведущих и направляющих колес приведены в табл. 5 Приложения для скорости движения 30 км/ч. При работе самоходных машин с навесными орудиями и скоростях не выше 16 км/ч нормы нагрузок на шины могут быть увеличены при тех же значениях внутреннего давления на 20% для шин ведущих колес и на 35% для шин направляющих колес. Такое увеличение нагрузок возможно благодаря уменьшению динамических нагрузок, связанных с уменьшением скорости качения шин и кратковременностью работы самоходных машин с навесными



а



б

Рис. 224. Тракторные шины 8-32 модели 0-2 (*а*) и 12-38 модель Я-166 (*б*).

орудиями. Кроме того, самоходные машины с навесными орудиями эксплуатируются на мягких грунтах, в результате чего уменьшается радиальная деформация шины.

Шины несущих колес (рис. 226) применяются на тракторных прицепах, прицепных сельскохозяйственных машинах и орудиях. Характеристика шин прицепов представлена в табл. 5 Приложения. Ввиду того что для шин прицепов допускаются большие значения внутреннего давления (1,4÷3,5 кгс/см²), чем для шин направляющих колес, максимальные значения нагрузок для этих шин также выше. Шины прицепов имеют рисунок протектора дорожного типа, в большинстве случаев в виде продольных ребер небольшой высоты и узких продольных канавок.

На сельскохозяйственных машинах обычно применяются камерные шины.

Как правило, шины ведущих и направляющих колес, а также колес прицепов монтируются на глубокие обода с коническими полками и не имеют ободных лент. Шины ведущих колес монтируются на более широкие обода, чем автомобильные шины. Ширина обода составляет 82—88% от ширины профиля шины, и поэтому шины ведущих колес имеют более низкий профиль, чем автомобильные шины.

В отличие от обычных автомобильных шин, где высота профиля больше, чем ширина профиля, у сельскохозяйственных шин веду-

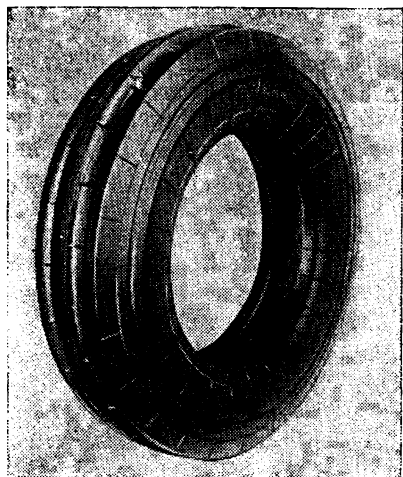


Рис. 225. Шина направляющих колес.

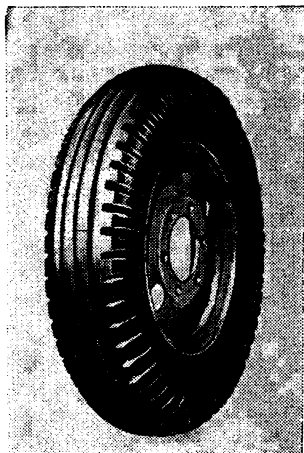


Рис. 226. Шина несущих колес.

щих колес высота профиля составляет 85—96% от ширины профиля шины.

Широкий обод, низкий профиль и сравнительно прямые боковые стенки шины способствуют повышению боковой устойчивости шины, что особенно важно в связи с низким внутренним давлением воздуха в ней.

Шины направляющих колес и шины прицепов по основным конструктивным соотношениям близки к автомобильным шинам.

Низкое эксплуатационное значение внутреннего давления позволяет изготавливать покрышки сельскохозяйственных шин с малым числом слоев каркаса. Часто в сельскохозяйственных покрышках применяются незакрепленные в бортах слои каркаса (так называемые полуслои). Полуслой оканчивается в зоне боковин шин и, как правило, заменяют собой средние слои каркаса.

Для изготовления каркаса покрышек используется хлопчато-бумажный корд, который в последние годы начинает вытесняться кордом из искусственных волокон, а в некоторых случаях — кордом из полиамидных волокон.

Между каркасом и протектором сельскохозяйственных шин, как и в автомобильных шинах, размещается резино-кордный или резиновый брекер. Более рационально применение резинового брекера. Шины, предназначенные для работы в легких условиях (направляющие и несущие колеса сельскохозяйственных машин), могут изготавливаться без брекера. В случае изготовления шин с резиновым брекером и без брекера для обеспечения надежной связи каркаса с протектором наружные слои каркаса выполняются из более редкого корда, чем остальные слои каркаса.

У шин, монтируемых на глубокие обода с коническими полками, подошве борта придается наклон, равный углу наклона полки обода. Плотная посадка борта шины на полку обода достигается за счет небольшого натяга подошвы борта по всей ширине ее. В шинах ведущих колес, работающих при низком внутреннем давлении ($0,8—1,5 \text{ кгс/см}^2$), подошве борта по носку придается угол наклона несколько больший, чем угол наклона полки обода. Этим достигается больший натяг борта по носку, чем по пятке борта, что улучшает посадку борта по полке, предотвращает защемление камеры и демонтаж шины во время работы.

Конструкция протектора сельскохозяйственных шин существенно зависит от назначения и условий работы их. Рационально подобранные основные размеры беговой дорожки и рисунка протектора не только улучшают сцепные качества шин, но также повышают износостойкость протектора, плавность хода машин и другие эксплуатационные качества.

Рисунок протектора шин ведущих колес представляет собой большей частью косые грунтозацепы, расположенные под углом примерно 45° к средней линии беговой дорожки. Высота и ширина грунтозацепов, а также расстояние между ними, т. е. шаг рисунка, зависит от условий, в которых эксплуатируется шина.

При работе на сырой, тяжелой почве (суглинок) необходимо, чтобы выступы протектора могли глубоко проникать в почву, обеспечивая хорошее сцепление шины с грунтом. Рисунок протектора для таких почв должен быть глубоким с широкими канавками и большим шагом.

На легких и сравнительно сухих почвах хорошее сцепление шины с грунтом достигается не только за счет механического зацепления шины с грунтом, но и за счет трения протектора о грунт. В данном случае применяются рисунки протектора с меньшей глубиной и большим числом выступов.

При работе на песке целесообразны неглубокие рисунки шапечного типа. Глубокий рисунок, врезаясь в песок, разрыхляет

его, существенно увеличивая силу сопротивления качению шин. При этом сцепление шины с грунтом уменьшается.

На рис. 227 показаны различные типы рисунков протектора тракторных шин.

Рассмотрим основные этапы развития рисунка протектора тракторных шин с связи с требованием повышения сцепления шин с грунтом.

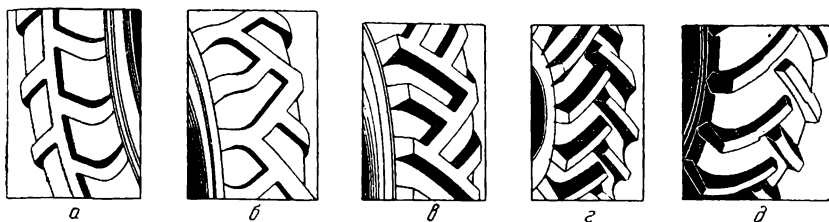


Рис. 227. Рисунки протектора тракторных шин.

В начальный период для сельскохозяйственных шин применялись рисунки типа автомобильных шин с прямыми поперечными ребрами и закрытым центром (рис. 227, а). На переувлажненных грунтах, особенно глинистых, такой рисунок «засаливается» и шины теряют сцепление с грунтом. В дальнейшем был разработан рисунок типа «косая елка» (рис. 227, б, в), который лучше очищается от прилипающего грунта при выходе из зоны контакта. Однако элементы рисунка правой и левой стороны все еще были соединены между собой, что придает шине повышенную жесткость. Затем стали применяться рисунки с открытым центром (рис. 227, г), что позволило увеличить эластичность шины и площадь контакта ее с грунтом и уменьшить удельное давление.

На рис. 227, д показан рисунок протектора с грунтозацепами, имеющими кривизну в поперечном направлении. Такая форма грунтозацепа способствует улучшению сцепления с грунтом и обеспечивает хорошую очищаемость рисунка от прилипшей грязи. Расположение грунтозацепов в середине беговой дорожки под более острым углом повышает износостойкость протектора и плавность качения шины на твердых грунтовых дорогах. В настоящее время такой тип рисунка широко применяется для тракторных шин.

Шины направляющих колес имеют рисунок протектора в виде продольных ребер с широкими канавками (см. рис. 225).

Выступающее ребро по середине беговой дорожки сообщает колесу высокую стабильность хода, не допуская извилистости движения машин на мягком грунте. Такой рисунок протектора способствует хорошей управляемости машин как на дорогах с твердым покрытием, так и на грунтовых дорогах. Широкие

продольные канавки легко очищаются от грунта, вследствие чего при эксплуатации сохраняется рельеф рисунка протектора. Благодаря рассечению среднего выступающего ребра продольными и поперечными канавками шина становится более эластичной.

Колеса прицепов и опорные катки сельскохозяйственных орудий являются опорными ведомыми колесами, поэтому на шинах для этих колес применяется рисунок дорожного типа небольшой глубины (см. рис. 226).

Шины направляющих колес и шины колес прицепов рассчитаны на большие деформации по сравнению с автомобильными шинами, поэтому величина стрелы протектора у сельскохозяйственных шин принимается большей, чем у автомобильных шин. Отношение стрелы протектора к высоте профиля шины по прессформе принимается 9—10%.

В связи с тем, что в ведущие колеса трактора можно заливать воду с целью увеличения сцепного веса трактора и тем самым увеличения тяговых показателей его, на камерах ведущих колес тракторов и других самоходных сельскохозяйственных машин устанавливаются водо-воздушные вентили специальной конструкции.

Рис. 228. Разрез водо-воздушного вентиля для тракторных шин:

1—корпус водяного вентиля; 2—кожух; 3—уплотнение; 4—корпус воздушного вентиля; 5—гайка; 6—золотник; 7—колпачок.

На рисунке 228 показан разрез водо-воздушного вентиля. При заливке воды воздушный вентиль вынимается из корпуса. Через образовавшееся широкое отверстие корпуса вентиля в шину заливается вода.

Кроме шин обычной конструкции, для пневматических колес сельскохозяйственных машин применяются шины типа Р (см. гл. IV). Рисунок протектора этих шин—обычный, применяемый для стандартных сельскохозяйственных шин. Тракторная шина

типа Р, выпускаемая фирмой «Пирелли», показана на рис. 18 (стр. 22).

Радикальная деформация шины типа Р примерно на 15% больше, чем у шины обычной конструкции.

Повышенная радиальная деформация обуславливает увеличение площади контакта шины с грунтом; в результате уменьшения давления шины на грунт уменьшается колея и уплотнение почвы, т. е. уменьшаются потери, затрачиваемые на деформацию грунта. Большая площадь контакта улучшает сцепление шины с грунтом.

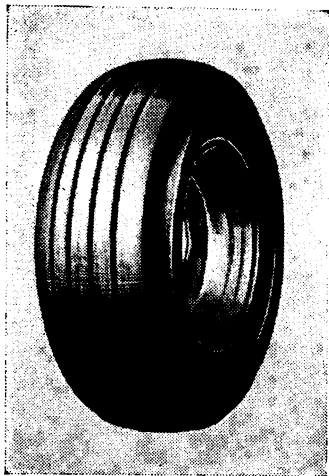


Рис. 229. Широкопрофильная шина для тракторного прицепа.

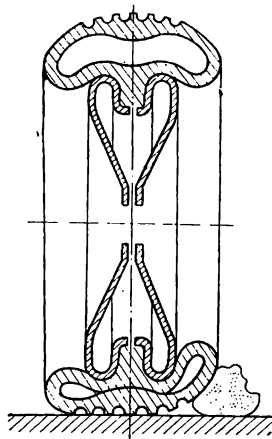


Рис. 230. Бескарасная шина типа «фармерлекс».

Улучшению сцепных качеств шин типа Р способствует также наличие жесткого мало деформируемого в окружном направлении брекера шины.

Вышеуказанные особенности шин с радиальным расположением нитей кода указывают на целесообразность их применения для ведущих колес и колес прицепов. Ввиду недостаточной жесткости шин типа Р в боковом направлении применение их для направляющих колес вряд ли целесообразно.

На тракторных прицепах наряду с шинами обычной конструкции применяются шины с низким и широким профилем (широкопрофильные). На рис. 229 показана такая шина фирмы «Данлоп». Площадь контакта широкопрофильной шины быстро растет с увеличением деформации как шины, так и грунта. Это позволяет шине выдерживать большие нагрузки.

Для навесных сельскохозяйственных орудий возможно применение бескарасных шин (рис. 230), которые представляют

собой толстостенную резиновую оболочку, работающую без избыточного внутреннего давления воздуха. Эластичность шины обуславливается только жесткостью стенок. Ввиду отсутствия внутреннего давления шина может долгое время храниться вместе с орудием и сразу вводиться в эксплуатацию. Порезы мало влияют на работу шины, чем снижается риск выхода ее из строя.

СКОРОСТНЫЕ ШИНЫ

На гоночные (рис. 231) и спортивные автомобили, как правило, устанавливаются специальные шины, приспособленные для работы при высокой скорости, так как обычные шины в этих усло-

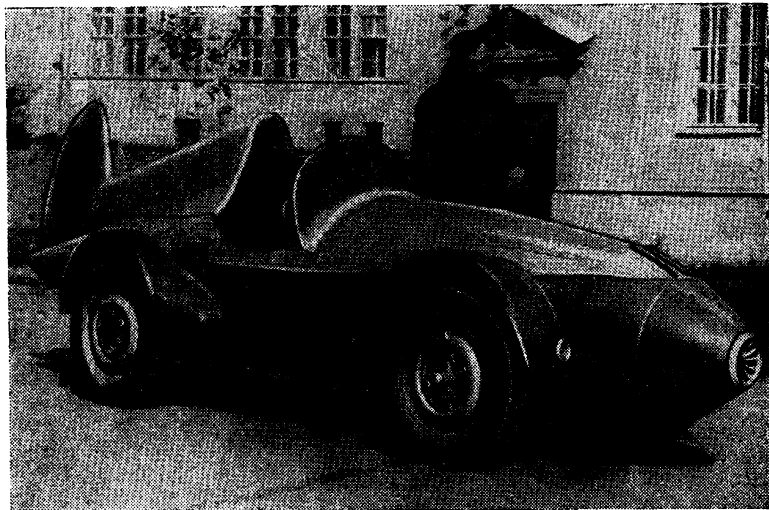


Рис. 231. Гоночный одноместный автомобиль

виях движения не обеспечивают необходимые динамические качества автомобиля и быстро выходят из строя. Требования, предъявляемые к скоростным шинам, определяются типом автомобиля и условиями его эксплуатации.

В соответствии с этими требованиями шины для скоростных автомобилей делятся на три категории: а) шины для шоссейно-кольцевых, горных и трековых гонок; б) шины для рекордных заездов на короткие дистанции; в) шины для повышенных скоростей движения на специальных модификациях стандартных автомобилей в обычных эксплуатационных условиях.

Работа шины на высокой скорости (см. гл. II, стр. 139) связана с возникновением высоких динамических нагрузок и с высо-

к частотными деформациями элементов шины, что приводит к развитию повышенных температур и увеличению потерь на качение. Повышение температуры в свою очередь приводит к снижению усталостной прочности материалов шины и прочности связи между резиной и кордом и, следовательно, снижению долговечности шины*.

Особенно сильно проявляются эти отрицательные явления при приближении скорости автомобиля к критической скорости качения шины, т. е. такой скорости, при которой возникают колебания шины за выходом из контакта (метод расчета критической скорости изложен в гл. II, стр. 143).

Конструкция скоростной шины должна обеспечивать достаточно высокую критическую скорость шины, минимальные деформации материала, хороший теплоотвод. Кроме указанных общих требований, к шинам предъявляются специфические требования в зависимости от условий эксплуатации, для которых они предназначены. Так, например, работа скоростной шины в условиях шоссейно-кольцевых гонок по дорогам транспортного назначения характеризуется частыми разгонами и торможениями автомобиля и крутыми его поворотами. Полная дистанция таких гонок, как правило, не превышает 500 км, длина круга обычно 15—30 км, средняя скорость движения колеблется в пределах 150 ÷ 200 км/ч. Поэтому шины для таких гонок, помимо высокой долговечности, должны иметь высокие показатели сцепления с дорогой, обладать повышенной износостойкостью протектора, а также обеспечивать хорошую устойчивость и управляемость автомобиля.

Шины, предназначенные для установления рекордов скорости (рекордные заезды на короткие дистанции), эксплуатируются на прямых участках дороги, при максимально возможных скоростях движения автомобиля они должны обеспечить пробег в 1—2 рекордных заезда. Поэтому главным требованием к этим шинам является обеспечение возможности движения автомобиля с наивысшей скоростью; износостойкость протектора этих шин не имеет существенного значения.

Шины для повышенных скоростей движения на спортивных модификациях стандартных автомобилей должны удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к обычным шинам (см. гл. III, стр. 172), в частности их протектор должен обладать высокой износостойкостью.

Как уже указывалось в гл. II (стр. 155), повышение критической скорости достигается увеличением внутреннего давления в шине, снижением массы беговой дорожки, увеличением угла нитей корда, а также увеличением ширины обода. Влияние на рабо-

* Характерным для скоростных шин видом разрушения является отслоение протектора.

тоспособность шин указанных мероприятий детально исследовано в НИИ шинной промышленности В. И. Новопольским и И. А. Чижовым. Ниже приводятся некоторые из полученных ими результатов.

На основе опыта эксплуатации отечественных и зарубежных скоростных шин установлены значения внутреннего давления и радиальной нагрузки, приведенные в табл. 13.

Таблица 13

Нормы внутреннего давления и нагрузки для скоростных шин

Тип автомобиля	Максимальная скорость км/ч	Внутреннее давление кгс/см ²	Отношение радиальной нагрузки на скоростную шину к нагрузке на обычную шину тех же габаритов %
Гоночный	250—300	4,0—5,0	65—70
Спортивный	200—250	3,0—3,5	75—80
Скоростной	170—200	2,5—3,0	90—100

Уменьшение нагрузки по сравнению с обычными шинами компенсирует увеличение скорости и позволяет не допустить возникновения высоких температур и снижения долговечности.

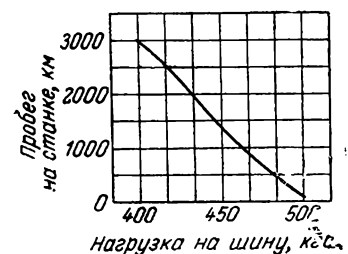


Рис. 232. Зависимость пробега до разрушения гоночных шин 8,50—16 от нагрузки при скорости качения 300 км/ч и внутреннем давлении 5 кгс/см².

В качестве примера на рис. 232 приведена зависимость пробега до разрушения гоночных шин 8,50—16 при обкатке на станке со скоростью 300 км/ч от нагрузки.

При номинальном режиме статический прогиб шин, предназначенных для рекордно-гоночных заездов, не должен превышать 6—10% от высоты профиля. Прогиб шин, предназначенных для трековых и шоссейно-кольцевых гонок, не должен превышать 10—12% от высоты профиля.

Угол, составляемый нитью корда по экватору с меридианом, для обычных шин составляет 50—52°. Для скоростных шин рекомендуется применять большие углы (57—62°). Как видно из приведенных на рис. 233 зависимостей, коэффициент сопротивления качению шин 6,00—16 существенно уменьшается с увеличением угла нити корда. Увеличение угла приводит к повышению критической скорости (см. рис. 135, стр. 156). Соответственно возрастает долговечность шин, эксплуатируемых при скоростях, близких к критическим.

Влияние ширины обода на критическую скорость шины 6,00—16 показано на рис. 234.

При увеличении ширины обода до определенного предела пробег до разрушения шин быстро возрастает, однако при чрезмерно широком обode (6,5" для шины 6,00—16) пробег снова падает в связи с изменением характера деформаций шины.

Увеличение диаметра колеса также способствует повышению работоспособности шины, так как при этом уменьшается частота деформации материала.

Так, при внутреннем давлении 5 кг/см², нагрузке 450 кг и скорости 300 км/ч шина 8,50—19 прошла в три раза большее рас-

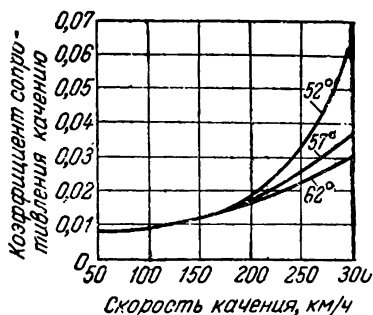


Рис. 233. Зависимость потерь на качение от скорости для шин 6,00—16 с различными углами нитей корда.

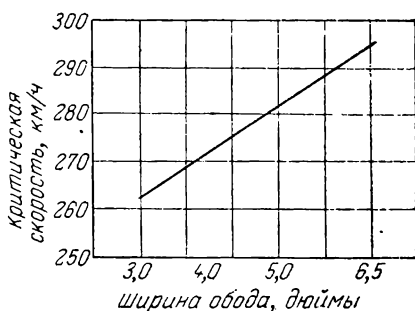


Рис. 234. Зависимость критической скорости шины 6,00—16 от ширины обода (внутреннее давление 5 кг/см²).

стояние, чем шина 8,50—16 такой же конструкции. При этом рабочая температура шины 8,50—19 была на 20 °С ниже.

При разработке конструкции беговой части гоночных шин следует руководствоваться тем, что гоночные шины, как правило, работают при большем внутреннем давлении, чем обычные шины, и при меньшей радиальной нагрузке. В связи с этим для обеспечения необходимой площади контакта радиус кривизны беговой дорожки выбирается большим, чем у аналогичных стандартных шин. Из-за необходимости уменьшения толщины протектора по краям беговой дорожки ширина беговой дорожки принимается меньшей, чем у стандартных шин (50—60% от ширины профиля вместо 70—80% для стандартных шин).

Толщина протектора по краю беговой дорожки для гоночных шин должна превышать толщину протектора по середине беговой дорожки не более чем в 2 раза, а для спортивных и скоростных — не более чем в 1,5 раза.

С целью снижения массы беговой дорожки скоростные шины, как правило, изготавливаются без тканевого брекера, учитывая, что они эксплуатируются на хороших дорогах. Толщина протектора принимается минимально возможной по условиям износа. Так,

для гоночных автомобилей со скоростью до 300 км/ч изготавливаются шины с протектором толщиной 4—5 мм (по середине беговой дорожки) и глубиной рисунка 2,5—3 мм. Такой протектор обеспечивает пробег шин свыше 500 км в условиях рекордных гонок, проводимых по хорошим дорогам без крутых поворотов.

Шины для спортивных автомобилей со скоростью до 250 км/ч имеют протектор толщиной 8—10 мм с глубиной рисунка 6—7 мм. В условиях шоссейно-кольцевых гонок эти шины быстро изнашиваются в связи с резкими торможениями и боковыми нагрузками на поворотах, поэтому пробег их до износа протектора составляет 500—1500 км.

Скоростные шины для легковых автомобилей, развивающих скорость до 200 км/ч, изготавливаются с протектором такой же толщины, как и стандартные шины (т. е. 12—14 мм по экватору при глубине рисунка 8—10 мм).

Опыт проектирования и эксплуатации гоночных шин показывает, что рисунок протектора гоночных шин должен в продольном направлении состоять из непрерывных элементов. При расчленении рисунка протектора в продольном направлении при входе в контакт отдельные элементы в результате ударов испытывают большие динамические нагрузки, что приводит к снижению долговечности шины.

При работе гоночных шин максимальные температуры развиваются в центре беговой дорожки. Для снижения температуры целесообразно делать кольцевую канавку, повышающую теплоотвод.

Для изготовления гоночных шин, как правило, применяются материалы, обладающие высокой усталостной прочностью, низким теплообразованием, высокой теплопроводностью и теплостойкостью. С целью повышения критической скорости качения шины резины протектора и каркаса выбираются жесткими (напряжение при удлинении на 300% не ниже 100 кгс/см²).

Для изготовления отечественных гоночных шин применяется капроновый корд. Количество слоев каркаса выбирается так, чтобы запас прочности был не менее 6÷7. При меньшем запасе прочности наблюдается рост габаритов шины в процессе эксплуатации.

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ШИН**ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ ШИН**

Испытания шин проводятся с двойной целью. С одной стороны, определяются характеристики шины, от которых зависят эксплуатационные качества автомобиля. К таким характеристикам относятся статические характеристики, определяющие податливость шины при радиальной, боковой и окружной нагрузке, показатели сцепления шины с дорогой, бокового увода, потерь на качение. С другой стороны, определяются показатели, характеризующие надежность шин в эксплуатации, — их износостойкость, усталостную прочность, сопротивление сосредоточенным нагрузкам и т. п.

Шины испытываются как лабораторными методами, так и путем проведения специальных экспериментов в дорожных условиях; долговечность шин определяется в условиях нормальной эксплуатации и при ускоренных дорожных испытаниях.

При лабораторных испытаниях исследуются свойства шин как детали автомобиля и определяются некоторые показатели, от которых зависит долговечность шин. Эти испытания позволяют также проверять однородность качества выпускаемых шин.

Испытания автомобильных шин в лабораторных условиях на специальных установках позволяют быстро получать результаты, причем обеспечивается постоянство условий испытаний⁴⁰.

Однако лабораторные испытания шин в настоящее время еще не дают достаточных данных для предсказания срока службы шин в эксплуатации и исчерпывающей оценки их эксплуатационных свойств. Поэтому лучшие образцы шин, выявленные в результате лабораторных испытаний, подвергают затем дорожным и эксплуатационным испытаниям.

Дорожные испытания заключаются в получении показателей, характеризующих эксплуатационные качества шин, путем экспериментов на автомобилях или на динамометрических тележках.

При дорожных испытаниях условия экспериментов приближаются к реальным. Имеется также возможность получения характеристик эксплуатационных качеств для различных условий работы автомобилей путем постановки разнообразных экспери-

ментов. Недостаток дорожных испытаний по сравнению с лабораторными заключается в трудности воспроизводства их условий.

При эксплуатационных испытаниях оценка шин (в основном их долговечности) проводится в нормальных условиях работы автомобилей в автохозяйствах. Эксплуатационные испытания дают возможность получить наиболее достоверную величину амортизационного пробега шин. Недостатками этого вида испытаний являются их большая продолжительность и получение в большинстве случаев только одного показателя эксплуатационных качеств шин—долговечности. Другие эксплуатационные качества при этих испытаниях могут определяться только приблизительно—наблюдениями, опросом водителей и т. д.

В связи с длительностью эксплуатационных испытаний, для более быстрого установления эксплуатационной надежности шины подвергаются ускоренным дорожным испытаниям. При этом шины испытываются на загруженных балластом автомобилях, которые движутся по определенной трассе с большими (до 800 км) среднесуточными пробегами. При ускоренных испытаниях ходимость шин существенно ниже, чем при нормальной эксплуатации. Поэтому такие испытания носят сравнительный характер.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИН

Податливость шины и площадь контакта с опорной поверхностью

Радиальная податливость определяет свойства шины как амортизатора динамических нагрузок на автомобиль.

Для каждой новой конструкции шин снимается зависимость радиального прогиба от нагрузки на шину (нагрузочная характеристика) при нескольких значениях внутреннего давления.

Эксперимент (так называемое «обжатие шины») проводится на специальных установках, позволяющих регистрировать как величину нагрузки, так и величину прогиба.

Методика обработки данных эксперимента путем построения универсальных нагрузочных характеристик шины описана в гл. II (стр. 112).

На рис. 235 приведена схема универсального пресса для испытания шин ОПШ-30, разработанного в НИИ шинной промышленности на базе серийной машины УИМЧ-30, применяющейся для испытаний металлических образцов на разрыв.

На неподвижной траверсе 1 установлен гидравлический цилиндр 2 с плунжером 3 и тягами 4, на которых закрепляется шина 5. На этой же траверсе установлен грузоподъемный механизм 6 для монтажа и демонтажа шины. На рабочем плунжере цилиндра покоится рама, состоящая из подвижной траверсы 7, тяг 8 и обжимного стола 9.

При подаче масла насосом 13 в силовой цилиндр траверса 7, тяги 8 и стол 9 перемещаются вверх и стол выступает под ее взаимодействие с шиной. Для регулировки начального расстояния от шины до стола при испытании шин разных размеров тяги 4, на которых закрепляется шина, могут перемещаться в вертикальном направлении при помощи червячного механизма.

Нагрузка на шину измеряется маятниковым силоизмерителем, реагирующим на величину давления масла в рабочем цилиндре. Силовой измерительный прибор 10 показывает нагрузку. Перо 11 диаграммного аппарата получает смещение, пропорциональное нагрузке. Барабан 12 этого аппарата получает поворот, пропорциональный перемещению стола 9. Таким образом, диаграммный прибор дает кривую нагрузка—деформация в прямоугольных координатах.

Пресс ОПШ-30 позволяет производить испытания шин диаметром от 300 до 2000 мм с шириной профиля до 600 мм. Максимальная нагрузка на шину—30 000 кгс. Точность измерений нагрузки $\pm 1\%$.

Прогибы шины при различных радиальных нагрузках могут быть измерены и при отсутствии специальной установки. Часто для этой цели используются нагрузочные устройства шинообкатных станков (см. стр. 310), причем во время эксперимента между шиной и барабаном станка устанавливается плоская плита.

При обжатии шины обычно одновременно снимаются отпечатки контакта, позволяющие определить площадь контакта шины.

С этой целью на участок протектора, несколько превышающий площадь контакта, наносится краска (сажа, растворенная в машинном масле), а на опорную плиту пресса накладывается бумага. После обжатия на бумаге остается четкий отпечаток рисунка протектора в зоне контакта.

В полученном отпечатке замеряются его ширина, длина, общая площадь и площадь выступов рисунка.

Наряду с радиальной податливостью шины определяется также ее окружная и боковая податливости. При определении этих ха-

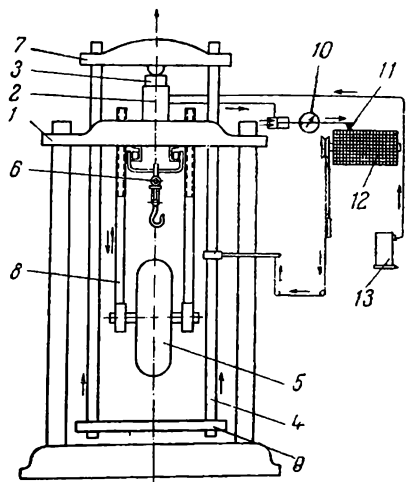


Рис. 235. Схема универсального пресса ОПШ-30 для испытания шин:

1—неподвижная траверса; 2—гидравлический цилиндр; 3—плунжер; 4—тяги; 5—шина; 6—грузоподъемный механизм; 7—подвижная траверса; 8—подвижные тяги; 9—обжимной стол; 10—силоизмерительный прибор; 11, 12—перо и барабан диаграммного аппарата; 13—насос.

рактистик к шине, нагруженной радиальной нагрузкой, дополнительно прикладывается крутящий момент или боковая сила, причем измеряются соответствующие перемещения. Определение окружной и боковой податливости производится на установках, служащих для изучения сцепления шины с дорожным покрытием (см. ниже рис. 238, 239).

Давление в площади контакта

Среднее давление в площади контакта или среднее давление на поверхность выступов определяются делением радиальной нагрузки на площадь всего отпечатка контакта или на площадь отпечатка выступов.

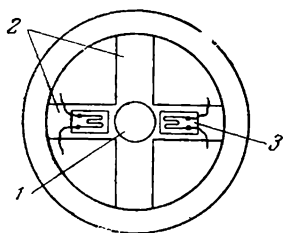
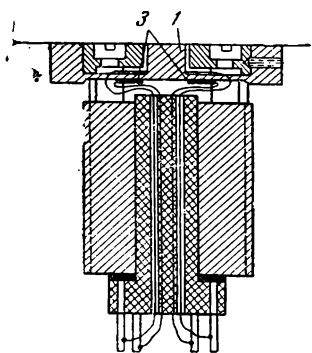


Рис. 236. Датчик для измерения давления и боковых сил в площади контакта:

1—стержень; 2—упругие балочки; 3—проволочные тензометры.

Для определения истинного давления на твердую опорную поверхность используются специальные датчики давления, монтируемые на поверхности дороги с твердым покрытием или на беговой поверхности барабана станка.

Удачная конструкция тензометрического датчика описана в работе¹⁹. Датчик (рис. 236) представляет собой стержень 1, удерживаемый четырьмя упругими балочками 2, на которые наклеены проволочные тензометры 3. В зависимости от способа включения тензометров в измерительную схему датчик регистрирует нормальное давление в площади контакта, продольное или боковое касательные усилия. Величина давления, возникающего при наезде шины на датчик, регистрируется осциллографом.

Один из приближенных способов определения характера распределения давления по площади контакта шины состоит в том, что под шину подкладывается резиновый коврик с конусными выступами. Выступы смазываются краской и коврик кладется на бумагу, лежащую на плоской плите. Ненакаченная шина опускается на коврик и закрепляется в положении, соответствующем необходимому радиальному прогибу. Шина накачивается, причем выступы коврика деформируются в соответствии с величиной давления. Затем воздух из шины выпускается и шина поднимается. На бумаге остаются отпечатки деформированных вы-

ступов коврика (рис. 237). По величине этих отпечатков определяется давление, для чего производится предварительная тарировка, т. е. определение зависимости диаметра отпечатка конуса от величины давления.

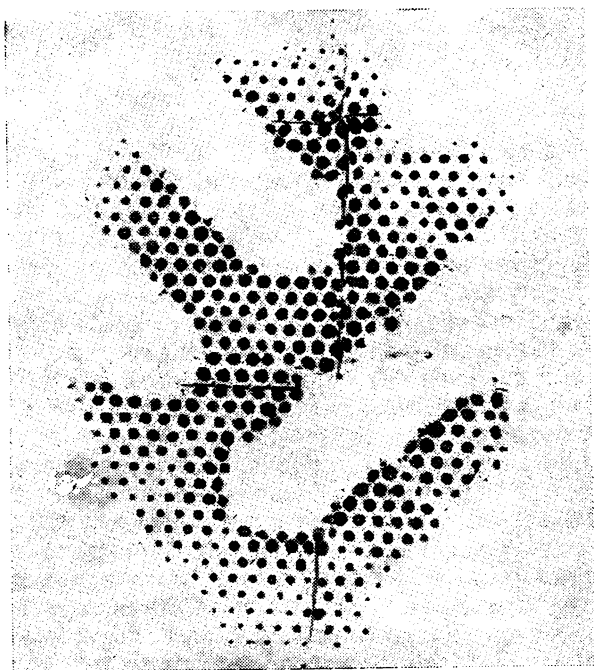


Рис. 237. Отпечатки конусных выступов резинового коврика, характеризующие распределение давления в площади контакта.

Сцепление с дорогой

Сцепление с дорогой является одним из важнейших качеств автомобильных шин, так как оказывает большое влияние на тяговые и тормозные характеристики автомобиля, его устойчивость и безопасность движения.

Сцепление с дорогой обычно определяется коэффициентами, оценивающими сцепление шины в продольном и боковом направлениях.

Коэффициент продольного сцепления рассчитывается как отношение тягового усилия к нормальной нагрузке при буксовании колес или как отношение тормозного усилия к нормальной нагрузке на тормозящие колеса. Коэффициент бокового сцепления является отношением боковой силы к нормальной нагрузке на

скользящие вбок колеса. Коэффициент сцепления определяется для отдельного колеса или для автомобиля в целом.

Применительно к отдельному колесу коэффициент сцепления равен:

$$\varphi = \frac{P_k}{Q_k}$$

Применительно к автомобилю:

$$\varphi = \frac{P_a}{Q_a}$$

где φ —коэффициент сцепления шин с дорогой, P_k —сила сцепления колеса с дорогой, P_a —сила сцепления автомобиля с дорогой, Q_k —нагрузка на колесо, Q_a —нагрузка на автомобиль.

Коэффициент сцепления определяется лабораторными или дорожными испытаниями⁴¹. Получение сравнимых величин коэффициента сцепления в лабораторных условиях затруднено из-за неполной воспроизводимости условий взаимодействия шин с дорогой и изменений поверхности образца дорожного покрытия (особенно при буксовании) в процессе испытаний, при дорожных испытаниях имеют место аналогичные затруднения в связи с неоднородностью дороги.

Коэффициент продольного сцепления в лабораторных условиях определяется на установках, обеспечивающих постепенное приложение крутящего момента к колесу, находящемуся под нормальной нагрузкой. Одна из таких установок показана на рис. 238. Колесо 3 с испытываемой шиной, при помощи карданного вала 11 соединяется с храповым колесом 12. На оси последнего свободно установлен сектор 16 с собачкой 13. При помощи винта 15 и троса поворачивается сектор 16, после чего через храповой механизм повертывается карданный вал 11, нагружая колесо крутящим моментом. Нормальная нагрузка на колесо создается передвижным грузом 2, передающим давление на колесо через рессору 9 и балку 4, закрепленную на оси в стойке 10. Груз 6 служит для вывешивания колеса с помощью винта 7; при этом рычаг 1, закрепленный в шарнире 8, устанавливается в нулевое положение.

Величина крутящего момента, вызывающего пробуксовывание шины на образце 5 дорожного покрытия, рассчитывается по усилию, необходимому для поворота сектора 16; усилие фиксируется динамометром 14.

Коэффициент бокового сцепления определяется на установке, схема которой дана на рис. 239. Колесо с испытываемой шиной 5, укрепленное на трубе 3, свободно сидящей на оси 2, может перемещаться вбок грузом 10, подвешенным на тросе 6. Ось 2 жестко закреплена в станине 1, поворачивающейся на оси 8. Нормальная нагрузка на шину создается грузом 11, находящимся на раме 4.

Предварительное вывешивание установки достигается с помощью противовеса 9. Коэффициент бокового сцепления находит-

ся по величине груза 10, вызывающего боковое скольжение шины при определенной величине нормальной нагрузки.

Одновременно с определением коэффициента сцепления может производиться замер боковой деформации, для чего служит самопишущее устройство 7.

Лабораторные испытания шин в условиях движения по мягким грунтам ведутся на установках с грунтовыми каналами, в кото-

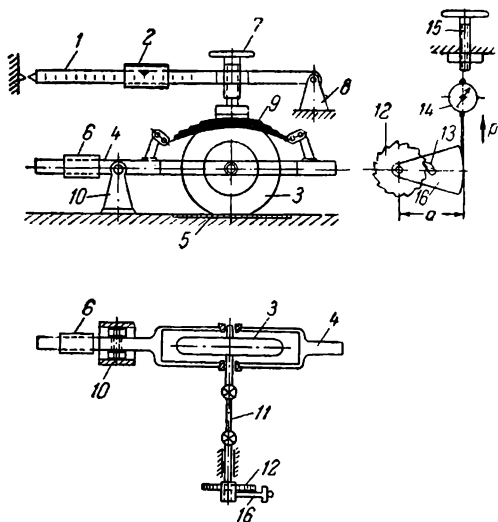


Рис. 238. Установка для определения коэффициента продольного сцепления шины с дорогой:

1—рычаг; 2—передвижной груз; 3—колесо с испытываемой шиной; 4—балка; 5—образец дорожного покрытия; 6—груз для вывешивания колеса; 7—установочный винт; 8—шарнир; 9—рессора; 10—стойка; 11—карданный вал; 12—храповое колесо; 13—собачка; 14—динамометр; 15—винт; 16—сектор.

рых изучается взаимодействие шины с грунтом при различных режимах движения.

Дорожные испытания по сцеплению проводятся на динамометрических тележках и на автомобилях. При испытаниях на динамометрических тележках затормаживанием колеса определяется коэффициент продольного сцепления с дорогой. В некоторых конструкциях тележек предусмотрена возможность установки колеса под углом к направлению движения. При качении возникает боковое усилие и шина проскальзывает вбок. Условия такого испытания несколько отличны от условий бокового скольжения шины при работе на автомобиле, где движение колеса вбок начинается обычно при довольно больших значениях скорости движения.

Наиболее достоверные данные по сцеплению с дорогой получаются при испытаниях шин на автомобилях. Коэффициент про-

дольного сцепления определяется на автомобилях методом буксирования и методом торможения.

При буксировании могут замеряться значения коэффициента продольного сцепления для колес, буксующих на месте или про-

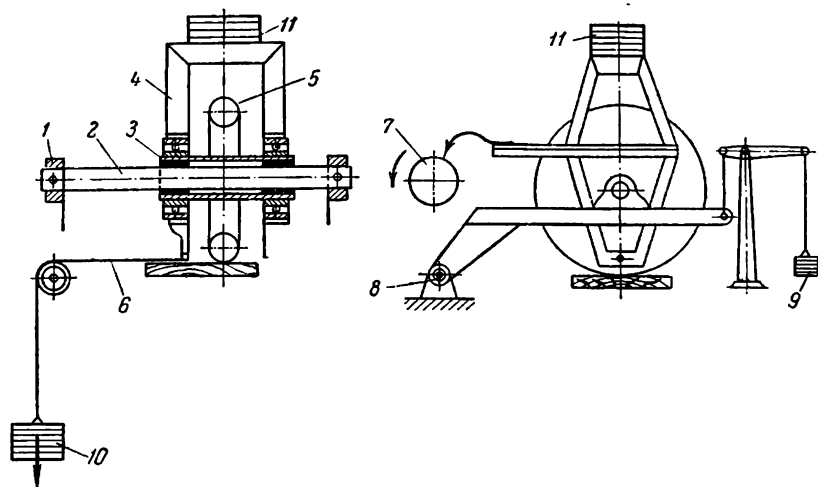


Рис. 239. Установка для определения бокового сцепления автомобильной шины:
1—станина; 2—ось; 3—подвижная труба; 4—рама; 5—колесо с шиной; 6—трос; 7—самопи-
сец; 8—ось станины; 9—противовес; 10—11—грузы.

буксовывающих частично при движении автомобиля, а также для колес, заторможенных полностью (юз) или заторможенных частич-
но.

Для определения коэффициента сцепления при буксовании автомобиль на испытываемых шинах при равномерном движении

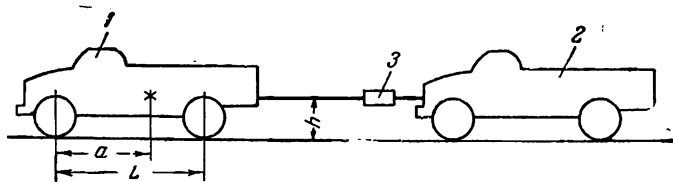


Рис. 240. Схэма определения коэффициента сцепления при до-
рожных испытаниях:
1—автомобиль с испытываемыми шинами на ведущих колесах; 2—тормозной
прицеп; 3—динамометр.

на небольшой скорости ($3 \div 5 \text{ км/ч}$) тормозится прицепом (рис. 240). Дифференциальный механизм автомобиля блокируется для получения равных окружных скоростей обоих ведущих колес.

Усилие торможения фиксируется динамометром. Для определения режима движения устанавливаются счетчики оборотов колес. Сопоставлением показаний счетчиков и пройденного автомобилем пути определяется процент буксования колес при данной тормозной силе.

Определение коэффициента сцепления заторможенных колес производится при буксировании автомобиля на испытываемых шинах тягачом. Режим движения колес и усилие торможения определяются аналогично предыдущему.

Расчет коэффициента продольного сцепления φ по данным испытания при полном буксовании задних ведущих колес производится по формуле:

$$\varphi = \frac{P_d}{Q_3}$$

где P_d —показание динамометра; Q_3 —нагрузка на задние колеса, определяемая в свою очередь как

$$Q_3 = \frac{Ga + P_d h}{L}$$

где G —вес автомобиля;

a —расстояние по горизонтали от середины контакта передних колес до проекции точки центра тяжести автомобиля на горизонталь (см. рис. 235);

h —высота крепления буксирного троса;

L —база автомобиля.

При частичном пробуксовывании следует дополнительно учесть силу сопротивления качению передних колес P_{f1} . В этом случае

$$\varphi = \frac{P_d - P_{f1}}{Q_3}$$

При полном или неполном торможении задних колес справедлива та же формула, но нагрузка на задние колеса определяется по формуле

$$Q_3 = \frac{Ga - P_d h}{L}$$

Сила сопротивления качению передних колес может определяться буксированием автомобиля при отсоединенных от полуосей задних колесах. Сила сопротивления качению передних колес определяется как часть полученного тягового усилия, пропорциональная нагрузке на эти колеса.

Коэффициент продольного сцепления определяется также путем резкого торможения автомобиля с заданной скорости до полной остановки.

При испытании на горизонтальном участке дороги на небольших скоростях коэффициент продольного сцепления для автомобиля со всеми тормозящими колесами определяется по формуле

$$\varphi = \frac{v^2}{2gS}$$

где v —начальная скорость (при юзе), S —тормозной путь (при юзе), g —ускорение силы тяжести.

Определение бокового сцепления на автомобилях несколько затруднено. Может быть рекомендован один из простых способов сравнения шин по боковому сцеплению, заключающийся в том, что автомобиль на испытываемых шинах движется с возрастающей скоростью по окружности заданного радиуса. При заносе задних колес (который обычно наступает достаточно резко) фиксируется скорость движения. Сравнение шин проводится по полученным величинам скоростей. Могут быть также ориентировочно рассчитаны величины коэффициентов бокового сцепления по формуле:

$$\varphi = \frac{v^2}{Rg}$$

где R —радиус окружности, v —скорость при заносе.

Сцепление с дорогой зависит от конструкции шин, вида и состояния дороги и режима движения шины. Рисунок протектора почти не оказывает влияния при сухих, твердых покрытиях, но имеет большое значение для движения по мокрым и ледяным поверхностям, а также на мягких грунтах. Внутреннее давление в шине является весьма действенным фактором, особенно в условиях движения по грунтам со слабой несущей способностью.

Коэффициент сцепления изменяется в различных дорожных условиях в большом диапазоне от 0,01 : 0,03 (лед) до 0,8 : 1,0 (асфальтобетон, бетон).

Боковой увод

Склонность шин к боковому уводу влияет на легкость управления, маневренность автомобиля. Боковой увод определяется в лабораторных и дорожных условиях.

Замеры бокового увода на лабораторных установках ведутся при приложении боковой силы к нормально нагруженному колесу. Такие испытания проводятся на различных по конструкции установках. Установка, пригодная для изучения неустановившегося бокового увода, представлена на рис. 239. Шина катится по барабану, приводимому во вращение электромотором. В начале

испытания колесо удерживают от бокового перемещения, затем отпускают, и оно под воздействием боковой силы катится по спиралл. Тем самым создаются условия, аналогичные боковому заносу при качении колеса автомобиля. Измеряется боковое перемещение колеса в зависимости от пути, пройденного шиной.

Более проста схема станка, используемого для изучения бокового увода при стационарном режиме. Ось колеса устанавливается под некоторым углом (углом увода) к оси барабана и измеряется боковое усилие, действующее на колесо при качении.

При прямолинейном движении испытания ведутся на дороге с постоянным поперечным наклоном или на автомобиле с закрепленными на нем наклоненными к оси автомобиля крыльями. Создающаяся в том и другом случае боковая сила вызовет боковой увод и изменит направление движения. Для обеспечения прямолинейного движения автомобиля необходим поворот управляемых колес на некоторый угол, фиксируемый по повороту цапф с помощью специального рычажного устройства*.

Угол увода задних колес определяется по следам передних и задних колес, оставляемым при переезде меловой черты, нанесенной поперек дороги. По смещению этих следов и базе автомобиля находится угол между продольной осью его и направлением движения, который равен углу увода задних колес.

Угол увода передних (управляемых) колес δ_A определяется из выражения

$$\operatorname{tg}(\theta - \delta_A) + \operatorname{tg} \delta_B = 0$$

где θ —угол поворота передних колес;

δ_A —угол увода передних колес;

δ_B —угол увода задних колес.

Угол увода колес при движении на повороте определяется различными методами. Наиболее распространены методы определения угла увода колес по следам колес, с помощью теодолита или проекционного прибора и с помощью «пятого колеса».

При первом методе автомобиль с определенной скоростью движется по окружности заданного радиуса (не менее 10–15 м). При этом шины непрерывно смачиваются водой и оставляют на дороге следы. Во время испытаний фиксируется угол поворота передних колес автомобиля (по повороту цапф). Схема движения автомобиля показана на рис. 241.

По следам замеряется разница между радиусами поворота переднего и заднего колес.

* Замер угла поворота колес по углу поворота рулевого колеса неточен вследствие наличия люфтов в соединениях привода.

Угол увода задних колес δ_B определяется из выражения

$$\sin \delta_B = \frac{L^2 + p^2 - 2Rp}{2(R-p)L}$$

где L —база автомобиля;

p —расстояние между следом переднего и заднего внутренних колес (разница между радиусами поворота);

R —действительный радиус поворота по переднему внутреннему колесу.

Угол увода переднего колса δ_A определяется из выражения

$$\cos(\theta - \delta_A) = \frac{(R-p) \cos \delta_B}{R}$$

Определение углов увода колес с помощью теодолита или проекционного прибора, закрепленных в автомобиле, также производится при движении по окружности. В центре круга устанавливается вежа с отметкой, изображение которой фиксируется на шкалах приборов. Замером смещения изображения выявляется

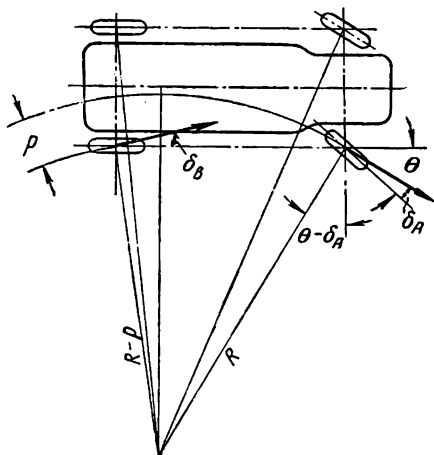


Рис. 241. Схема движения автомобиля по кругу при определении бокового увода.

боковой наклон продольной оси автомобиля, соответствующий уводу задних колес. Пользуясь этой величиной и величиной замеряемого угла поворота передних колес по приведенному выше выражению, можно определить угол увода переднего колеса. Устройство для определения углов увода колес с помощью «пятого колеса» (рис. 242) состоит из этого колеса, шарнирно связанного с задним мостом автомобиля и противовеса.

При движении по окружности автомобиль вследствие увода колес поворачивается, а траектория движения «пятого колеса» остается неизменной, благодаря наличию противовеса, уравнивающего центробежную силу. Угол смещения задней оси автомобиля по отношению к рычагу, связанному с «пятым колесом», фиксируемый специальным устройством, соответствует углу увода задних колес.

Определение угла увода отдельного колеса производится иногда в дорожных условиях на динамометрических тележках, конструк-

ция которых предусматривает возможность установки колеса под углом к направлению движения и замера возникающего при этом бокового усилия.

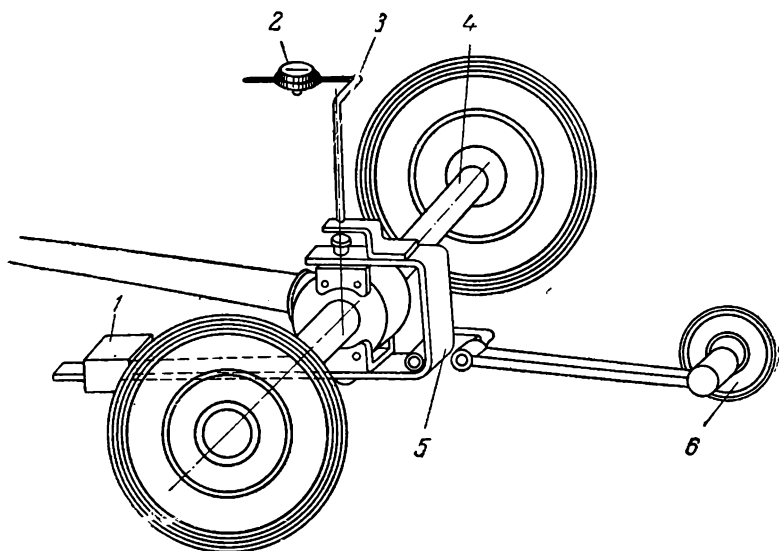


Рис. 242. Схема устройства с «пятым колесом» для определения бокового увода:

1—противовес; 2—индикатор; 3—рычаг; 4—задняя ось; 5—шарнир; 6—пятое колесо.

Сопротивление качению

Коэффициент сопротивления качению (см. гл. II, стр. 131) определяется лабораторными или дорожными испытаниями при равномерном или замедленном движении колеса.

При лабораторных испытаниях для определения сопротивления качению пользуются станками различных конструкций: с качением колеса по цилиндрической поверхности барабана или по горизонтальному беговому диску.

В дорожных условиях сопротивление качению определяют на электромобилях или троллейбусах, на автомобилях, на динамометрических тележках.

Принципиальная схема определения сопротивления качению при постоянной скорости показана на рис. 243. Мощность, теряемая на сопротивление качению колеса и вентиляционные потери, фиксируется как разность мощностей электродвигателя и генератора. Вентиляционные потери определяются отдельным вращением колеса и бегового барабана с принятыми при испытании скоростями.

Мощность, затрачиваемая на качение колеса с испытываемой шиной, определяется как разность между мощностями электродвигателя и генератора, уменьшенная на величину вентиляционных потерь. Коэффициент сопротивления качению f находится по формуле:

$$f = \frac{N}{Qv}$$

где N —мощность, затрачиваемая на качение колеса по барабану, кгс·м/сек;
 Q —нагрузка на колесо, кгс;
 v —окружная скорость, м/сек.

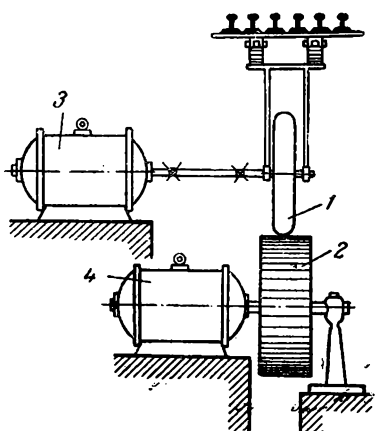


Рис. 243. Схема динамометрического станка для определения сопротивления качению:

1—шина; 2—беговой барабан; 3—двигатель;
 4—генератор.

На станке с горизонтальным беговым диском (рис. 244) колесо с испытываемой шиной приводится в движение балансирным электродвигателем 1 и нагружается рамой 2 с грузом. Передаваемый беговому диску от колеса крутящий момент воспринимается механическим тормозом 3. Тяговое усилие на колесе P_k измеряется гидравлической месдозой 4 с ртутным манометром 5.

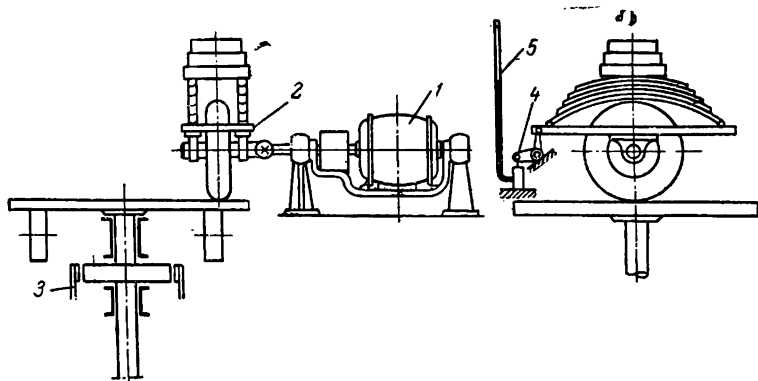


Рис. 244. Схема станка с беговым диском:

1—двигатель; 2—рама; 3—тормоз; 4—гидравлическая месдоза; 5—ртутный манометр.

Коэффициент сопротивления качению определяется по формуле

$$f = \frac{M - P_k r_k}{Q r_k}$$

где M —крутящий момент на колесе, P_k —тяговое усилие, r_k —радиус качения колеса, Q —нагрузка на колесо.

Радиус качения колеса может быть найден по формуле

$$r_k = \frac{\omega_d}{\omega_k} R$$

где ω_d —угловая скорость бегового диска, ω_k —угловая скорость колеса, R —расстояние от оси бегового диска до средней плоскости колеса.

На станке, показанном на рис. 245, потери на качение определяются при свободном замедленном качении колеса с испытываемой шиной по барабану. Измеряется время, в течение которого

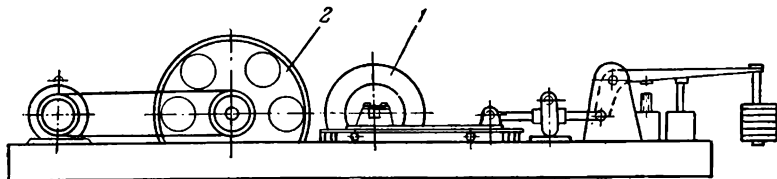


Рис. 245. Станок с беговым барабаном (ИПС-1), позволяющий определять сопротивление качению при замедленном движении:

1—шина; 2—беговой барабан.

скорость качения колеса по барабану снижается на 5 или 10 км/ч от заданного значения. Точность включения и выключения секундомера обеспечивается автоматическим устройством, реагирующим на скорость вращения барабана станка. При определении коэффициента сопротивления качения шин на этом станке пользуются следующей формулой, учитывающей приближенно потери на трение в подшипниках бегового барабана:

$$f = \frac{\Delta v}{3,6 t_{ш} r_6^2} \left(I_6 \frac{t - t_{ш}}{t} + I_{ш} t^2 \right)$$

где Δv —принятый интервал снижения скорости, км/ч; $t_{ш}$ —время замедления вращения бегового барабана с шиной, сек; t —время замедления вращения бегового барабана без шины, сек; I_6 —момент инерции барабана, кгс·м/сек²; $I_{ш}$ —момент инерции колеса с шиной, кгс·м/сек²; r_6 —радиус беговой поверхности барабана, м; $i = \frac{r_6}{r_k}$; r_k —радиус качения шины, м.

Определение сопротивления качению шин на станках имеет общий недостаток—неполное совпадение условий качения с условиями движения автомобиля.

На станках с барабанами, беговая поверхность которых имеет довольно значительную кривизну (обычно диаметр барабанов не превышает 2÷2,5 м), деформация шины больше, чем деформация

шины в дорожных условиях, вследствие чего получаемая величина коэффициента сопротивления качению превышает действительную.

При испытании на станках с горизонтальным беговым диском деформация шины нормальная, но в связи с качением колеса по окружности происходит боковое проскальзывание элементов протектора. Вследствие этого коэффициент сопротивления качению, получаемый в этих условиях, также больше действительного.

При определении сопротивления качению на станках трудно с достаточной точностью учесть потери на трение в подшипниках и сопротивление воздуха.

Определение коэффициента сопротивления качению в дорожных условиях на автомобиле и троллейбусе производится путем замера электроизмерительными приборами мощности, затрачиваемой на равномерное движение по горизонтальной дороге с небольшой скоростью, когда можно пренебречь силой сопротивления воздуха.

Эта мощность уменьшается на величину потерь в трансмиссии, которые замеряются при вращении вывешенных ведущих колес с такой же скоростью, как и при испытаниях*.

Расчетная формула следующая:

$$f = \frac{N}{Q_a v}$$

где N —мощность, затрачиваемая на качение колес, $кгс \cdot м/сек$;

Q_a —вес автомобиля (троллейбуса), $кгс$;

v —скорость движения, $м/сек$.

При этом методе определения сопротивления качению не учитываются потери на трение в подшипниках неведущих колес и сопротивление воздуха.

Определение коэффициента сопротивления качению на автомобиле осуществляется различными способами: буксированием при замедленном движении (на «выбег»), движением по дороге с уклоном, движением по дороге с уклонами различной величины.

При первом способе автомобиль на испытываемых шинах буксируется с постоянной скоростью до 10–15 $км/ч$ (при которой потери на преодоление сопротивления воздуха незначительны). Между тягачом и буксируемым автомобилем в сцепное устройство включен динамограф, регистрирующий величину силы, необходимой для качения колес на испытываемых шинах. Коэффициент сопротивления качению (полученный как отношение тягового усилия к весу автомобиля) будет несколько отличаться от действительного, так как будет включать трение в трансмиссии и в под-

* Замеренные таким способом потери в трансмиссии, почти не передающей момента, отличаются от потерь на трение в нагруженной трансмиссии во время испытаний.

шипниках колес, а также будет относиться к качению всех ведомых колес, в то время как при самостоятельном движении автомобиля через ведущие колеса передается крутящий момент. Для исключения влияния трения в трансмиссии ее иногда отключают, отсоединяя колеса от полуосей.

При определении коэффициента сопротивления качению на автомобиле остальными способами и при проведении других дорожных испытаний шин в ряде случаев производится фиксация времени, пути и скорости движения. Для замеров этих величин применяются различные приборы, одним из наиболее распространенных является прибор «путь—скорость—время», приводимый в действие от так называемого «пятого колеса», т. е. колеса с пневматической шиной, обычно небольшого размера, которое крепится к кузову или к раме автомобиля и катится рядом с ним по дороге. Прибор регистрирует изменение скорости в зависимости от пути автомобиля, а также отмечает отрезки пути, проходимые за равные промежутки времени.

Иногда применяются более простые приборы «путь—время», по записям которых также может рассчитываться скорость движения.

При отсутствии приборов «путь—скорость—время» или «путь—время» отсчеты времени производятся секундомером, а на дороге делаются отметки с помощью устройства, выбрасывающего под давлением порции краски. Последующими замерами участков пути между отметками определяются величины скоростей и замедлений (при медленном движении). Необходимые параметры движения автомобиля могут быть получены также отсчетами времени при проезде мимо столбов, установленных вдоль дороги.

Замедление (отрицательное ускорение) в различных точках пути движения автомобиля может быть зафиксировано также приборами инерционного типа—деселерометрами.

Коэффициент сопротивления качению при медленном движении может определяться при снижении скорости в заданном диапазоне значений или до полной остановки автомобиля.

В первом случае коэффициент сопротивления качению находится из выражения

$$f = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2gS}$$

где v_1 —скорость в начале движения, v_2 —конечная скорость, S —путь, на котором произошло замедление.

Приведенная формула не учитывает сопротивления воздуха. Если измерены с помощью деселерометра начальное (j_1) и конечное (j_2) замедления, то можно исключать сопротивление воздуха с помощью формулы

$$f = \frac{j_2 v_1^2 - j_1 v_2^2}{g(v_1^2 - v_2^2)}$$

При движении до полной остановки автомобиля коэффициент сопротивления качению определяется по формуле

$$f = \frac{v^2}{2gS}$$

где v —скорость в начале движения, S —путь, пройденный автомобилем.

Поскольку в последней формуле потери на преодоление сопротивления воздуха не учитываются, скорость v должна быть небольшой (10÷15 км/ч).

Приведенные формулы не учитывают потери на трение в трансмиссии и подшипниках колес. Также не учитывается кинетическая энергия вращения колес в сравнении с энергией поступательного движения автомобиля.

Влияния трения в трансмиссии можно избежать, отсоединяя ведущие колеса от трансмиссии, однако это затрудняет испытания.

Для выделения потерь на трение в трансмиссии и в подшипниках ведущих колес вывешивают колеса и от двигателя сообщают им скорость, равную начальной скорости при дорожном испытании. Затем выключают передачу и замеряют время снижения скорости вращения до значения конечной скорости при испытании на дороге.

Величина, учитывающая влияние потерь в трансмиссии на коэффициент сопротивления качению, может быть приближенно выражена формулой

$$\rho = \frac{zI(v_1 - v_2)}{Q_a r_k^2 t}$$

где z —число вывешенных ведущих колес;

I —момент инерции колеса, кг·см/сек²;

Q_a —вес автомобиля, кгс;

r_k —радиус качения колеса, м;

t —время вращения вывешенных ведущих колес, сек.

Коэффициент сопротивления качению с учетом влияния указанных выше потерь будет:

$$f_1 = f - \rho$$

Определение коэффициента сопротивления качению при движении автомобиля по дороге с постоянным уклоном основано на том, что автомобиль в таких условиях достигнет некоторой скорости, которая станет стабильной, так как составляющая веса автомобиля, параллельная дороге P_h , уравновесит сопротивление движению, состоящее из сопротивления качению и сопротивления воздуха:

$$P_h = P_f + P_w$$

где P_f —сила сопротивления качению, P_w —сила сопротивления воздуха.

При этом виде испытаний коэффициент сопротивления качению находится из выражения

$$f = \operatorname{tg} \alpha - \frac{kFv^2}{Q_a}$$

где α —угол уклона дороги, k —коэффициент сопротивления воздуха, F —лобовая площадь автомобиля, m^2 , v —скорость равномерного движения автомобиля, $m/сек$.

Величина k находится путем продувки моделей автомобиля в аэродинамической трубе. Для основных типов автомобилей этот коэффициент приводится в справочниках.

При проведении испытаний на небольших уклонах, где скорость движения автомобиля невелика, можно коэффициент сопротивления качению считать равным уклону, на котором движение автомобиля является равномерным.

Следует отметить, что использование приведенного выше метода затруднено необходимостью иметь довольно большой участок дороги с постоянным уклоном. Эти условия легче выполнены при проведении испытаний на автодромах.

Может быть предложен более удобный метод определения коэффициента сопротивления качению в дорожных условиях, который дает возможность использовать для опыта практически любой участок дороги с небольшими уклонами.

От заранее отмеченного места автомобиль движется из неподвижного положения, без включения двигателя, и после спуска и выбега по инерции останавливается. Этот метод может быть также успешно использован потому, что не требует замера параметров движения автомобиля (скорости, ускорения), что устраняет необходимость применения приборов и повышает точность опыта.

Коэффициент сопротивления качению определяется в этом случае по формуле:

$$f = \frac{\sum_1^n S_i \sin \alpha_i}{\sum_1^n S_i \cos \alpha_i}$$

где S_i —протяженность участков дороги;

α_i —углы наклона участков дороги к горизонтали.

Пользуясь этим выражением, можно определять величину коэффициента сопротивления качению при любом сочетании уклонов и протяженности участков дороги. Уклоны не должны быть значительными (для устранения влияния сопротивления воздуха), скорость движения автомобиля не должна превышать 10—15 км/ч.

Сопrotивление качению шин в дорожных условиях определяется также на динамометрических тележках. Применяются динамометрические тележки, буксируемые автомобилем, а также самоходные тележки, на которых замеряются усилия, возникающие при различных режимах качения колес с испытываемыми шинами. Коэффициент сопротивления качению, так же как и в предыдущих методах испытаний, находится как отношение необходимого для качения колеса усилия к нормальной нагрузке.

Преимущество испытаний на динамометрических тележках по сравнению с испытаниями на автомобилях состоит в возможности более точных измерений и в создании большого разнообразия условий испытаний.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ШИН

Долговечность шин в эксплуатации зависит от целого ряда факторов и для различных шин определяется разными их свойствами.

Большая часть шин выходит из строя вследствие износа протектора, однако имеют место и разрушения каркаса шины или отслоения протектора.

Такие дефекты, как разрушение борта шины или разрыв проволочных колец, встречаются реже: при явно неудачной конструкции шины или неправильной ее эксплуатации.

В комплекс лабораторных испытаний, служащих для оценки долговечности шин, входят такие испытания, как обкатка шин на станках до разрушения, определение прочности каркаса при сосредоточенных нагрузках, определение износостойкости протектора. В лабораторных условиях определяются также рабочие температуры шины в тех или иных условиях, влияющие на прочность материалов. Однако, как уже указывалось, полностью оценить в лабораторных условиях качество автомобильной шины невозможно.

Полная оценка долговечности той или иной партии шин может быть получена лишь в результате эксплуатационных испытаний.

Обкатка шин на станках

Испытания на шинообкатных станках проводятся в основном с целью получения данных, позволяющих определить усталостную прочность шины.

На рис. 246 приведена схема шинообкатного станка типа ИПЗ, применяемого отечественной промышленностью для испытаний шин. Беговой барабан 1 приводится в движение электромотором. Испытуемые шины 3 устанавливаются на двух каретках 4, перемещающихся на роликах в направляющих станины. На каждой каретке устанавливается по одной шине. Нагружение

шины осуществляется грузом 6 с помощью рычага 5. Станок позволяет испытывать шины диаметром до 1400 мм под нагрузкой до 4500 кгс при скорости качения от 25 до 150 км/ч с плавной регулировкой скорости. Аналогичные станки применяются для

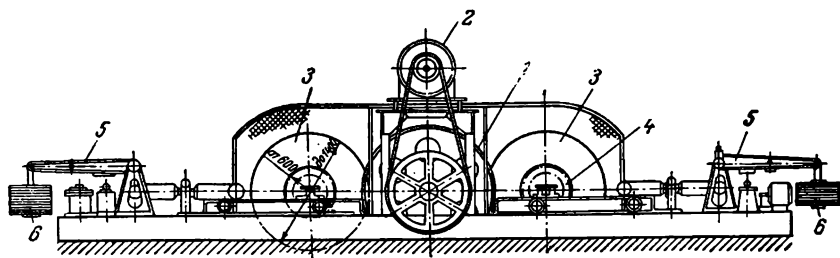


Рис. 246. Шинообкатной станок ИПЗ:

1—беговой барабан; 2—двигатель; 3—испытываемая шина; 4—каретка; 5—рычаг; 6—груз.

обкатки шин на шинных заводах фирмы «Файрстон» (США). На рис. 247 приведена схема шинообкатных станков, применяющихся на некоторых заводах фирмы «Денлоп» (Англия). Колесо с испытываемой шиной 3 монтируется на рычаге 2. Рычаг шарнирно подвешен в точке 1 на раме станка. Под действием веса груза 4 шина прижимается к беговому барабану 6. При вращении винта 5 груз передвигается вдоль рычага, и тем самым может быть установлена заданная для данной шины радиальная нагрузка.

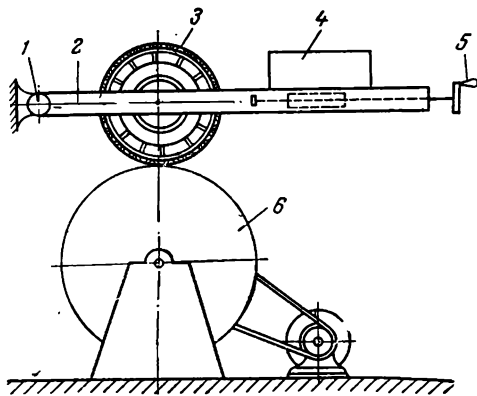


Рис. 247. Шинообкатной станок с передвижным грузом:

1—шарнир; 2—рычаг; 3—шина; 4—груз; 5—нагрузочный винт; 6—беговой барабан.

На рис. 248 приведена схема шинообкатного станка для испытания одновременно 12 легковых шин, установленного на шинном заводе фирмы «Гудьир». Станок состоит из металлического барабана диаметром в 6 м, неподвижно закрепленного в вертикальном положении, и вала, на котором внутри барабана в четырех параллельных плоскостях установлено 12 покрышек, которые обкатываются по внутренней поверхности барабана. Радиальная нагрузка на шины осуществляется при помощи пневматической системы. Воздушная магистраль проходит по полуму валу мото

ра и штангам, на которых укреплены шины. Скорость обкатки—около 50 км/ч.

На рис. 249 приведена схема шинообкатных станков, установленных в лаборатории испытания шин на шинном заводе фир-

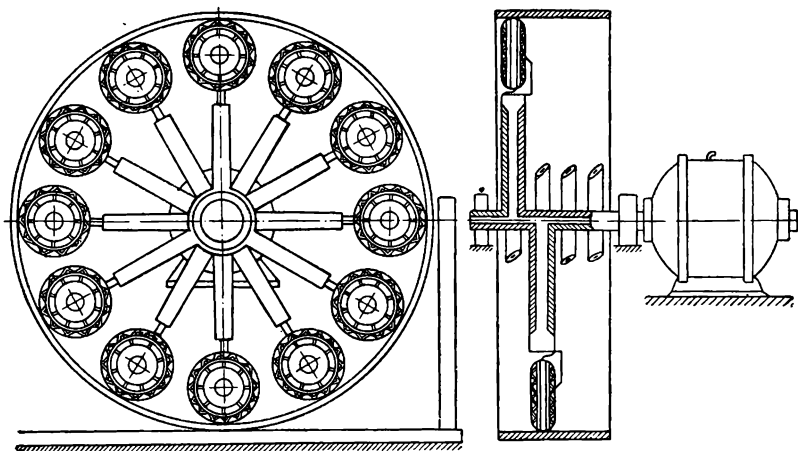


Рис. 248. Станок для одновременной обкатки 12 шин по внутренней поверхности барабана.

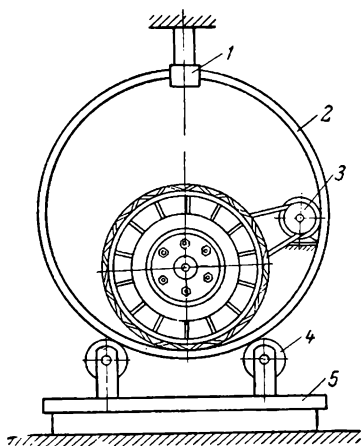


Рис. 249. Станок для обкатки шины по внутренней поверхности кольцеобразного барабана:

1—направляющая; 2—кольцо; 3—электромотор; 4—ролик; 5—нагрузочная плита.

углами к образующей барабана. Применяются клицы различной высоты (от 10 до 40 мм).

мы «U. S. Rubber». Станок состоит из массивного металлического кольца—барабана 2, опирающегося внизу на два широких ролика 4 с ребрами. В верхней части кольцо проходит внутри направляющей 1, предохраняющей кольцо от поперечного смещения. Радиальная нагрузка на шину осуществляется при помощи вертикального перемещения плиты 5. Электромотор 3 вращает шину, которая приводит в движение кольцо.

Обычно на поверхности барабана шинообкатного станка устанавливается несколько препятствий—клиц. Клицы занимают всю ширину беговой дорожки и устанавливаются под различными

Вид разрушения шины на станке зависит от конструкции шины и режима испытания.

Для того чтобы результаты испытания на станке давали представление об эксплуатационной надежности шины, необходимо, чтобы вид разрушения на станке соответствовал типовому разрушению в эксплуатации. При этом необходимо также, чтобы рабочая температура шины на станке не отличалась существенно от эксплуатационной.

Добиться выполнения этих требований и одновременно обеспечить достаточно короткий срок испытаний чрезвычайно трудно.

Поэтому, как правило, станочные испытания проводятся при определенных типовых режимах, и их результаты используются главным образом для сравнения различных моделей шин между собой.

Типовой режим испытания шин на станках устанавливается обычно следующим образом.

Внутреннее давление в шине и радиальная нагрузка в начале испытаний принимаются равными нормальным эксплуатационным значениям. При выборе скорости обкатки шин руководствуются главным образом теми температурами, которые имеет шина при обкатке. Температура шины при обкатке на станке не должна превышать максимальной температуры ее в эксплуатации более чем на 15—20 °С. В противном случае шины при обкатке на станках могут разрушаться из-за повышенных температур, а в эксплуатации оказаться достаточно работоспособными. В большинстве случаев скорость обкатки шин снижают с повышением слойности каркаса (или увеличением размера шины).

В качестве примера можно привести значения скорости обкатки для одного из режимов испытаний грузовых шин, применявшегося в НИИ шинной промышленности:

Количество слоев корда в каркасе	Скорость обкатки км/ч
6—8	50
10—12	40
14 и выше	30

С целью ускорения испытаний по достижении шиной некоторого определенного километража нагрузка на шину увеличивается. Так, иногда применяют режим обкатки, при котором нагрузка увеличивается на 25% начального значения через каждую тысячу километров после 5000. При этом нагрузка доводится до двухкратной и дальнейшее ее увеличение прекращается. Следует отметить, что подобные способы интенсификации испытаний не являются обоснованными. По-видимому, в случае необходимости целесообразно назначать более жесткий начальный режим испытаний.

Наряду с типовым режимом станочных испытаний используются специальные режимы, рассчитанные на получение опре-

деленного вида разрушения шин. Так, например, при испытании шин на сниженном давлении возникают расслоения каркаса; при высоких внутренних давлениях и скоростях отслаивается протектор и т. п.

Разработка режима испытания, обеспечивающего для всех сравниваемых шин одинаковый вид разрушения, связана со значительными трудностями. Испытания при таких режимах пред-

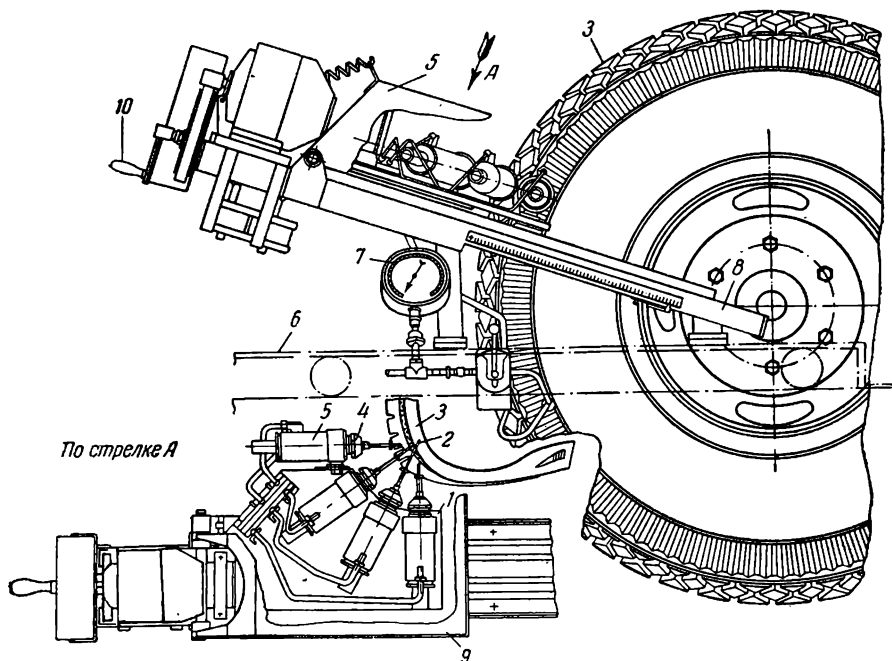


Рис. 250. Приспособление для одновременного замера температуры в пяти точках шины:

1—косынка; 2—игла-термопары; 3—покрышка; 4—держатель термопары; 5—пневматический цилиндр; 6—каретка; 7—манометр; 8—кронштейн; 9—каретка; 10—рукоятка-винт.

ставляют, однако, большой интерес, так как позволяют сравнивать шины по определенному показателю (прочность связи между слоями, прочность каркаса и т. п.).

При обкатке на станках обычно измеряется и рабочая температура шин.

Замеры температуры производятся игольчатой термопарой, обычно в области наибольших температур—в брекере, каркасе, в различных зонах профиля покрышки. Характерные зоны замеров—по экватору, в плечевой зоне, в боковой части.

Для получения средних данных замеры ведутся по сечениям, у «легкой» и «тяжелой» точек шины, или в сечении, расположен-

ном на равных расстояниях от этих точек. Для определения температуры поверхности протектора используется ленточная термопара.

Недостатками такого способа замера являются необходимость довольно продолжительной (1÷3 мин) остановки станка, при которой температура в шине перераспределяется, а также затраты

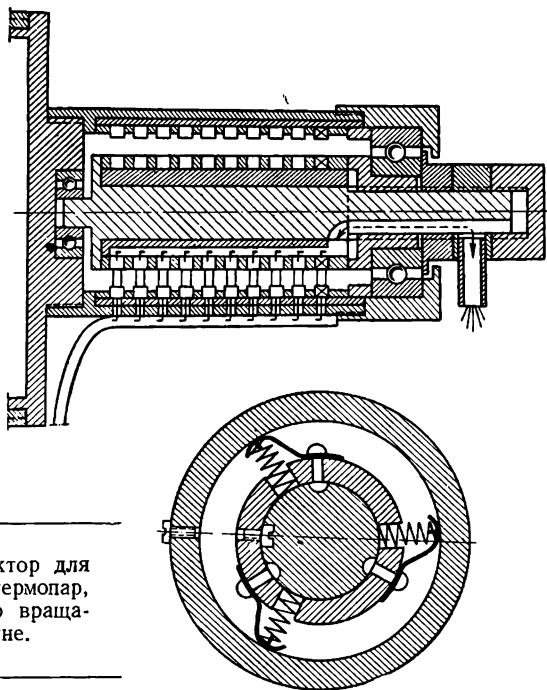


Рис. 251. Коллектор для подключения термопар, установленных во вращающейся шине.

больших физических усилий на вкалывание игольчатой термопары в покрышку.

Некоторое смягчение этих недостатков в лабораторных условиях достигается применением приспособления (рис. 250), представляющего собой каретку с несколькими термопарами. Каретка подается к шине вращением винта от электродвигателя (или вручную). Погружение игл термопар в покрышку осуществляется с помощью пневматического привода; в исходное положение иглы возвращаются пружинами. При применении такого приспособления время, необходимое для замера температуры (в 5 точках), сокращается до 30÷40 сек.

В целях полного устранения необходимости останавливать станок замеры температуры производятся миниатюрными термопарами, заделанными в покрышку. Для съема тока служит коллектор с рядом изолированных контактных колец (рис. 251).

Предельная температура нагрева шины обычно достигается в течение 1–2 ч. Температура и время предельного нагрева зависят от конструкции шины и условий испытания (температуры воздуха, скорости движения, нагрузки внутреннего давления в шине).

Распределение температур по сечению шины зависит от ее конструкции, материалов и условий работы. Обычно наибольшую температуру нагрева имеет каркас или брекер в плечевой зоне и по экватору. При сниженном внутреннем давлении максимальная температура может развиваться в боковых стенках шины.

Оценка сопротивления каркаса шин сосредоточенным нагрузкам

При эксплуатации автомобиля шины часто взаимодействуют с различными дорожными препятствиями. Во многих случаях при наездах на препятствия шина подвергается действию больших сосредоточенных сил, которые при недостаточной прочности резино-кордного каркаса могут привести к разрушению шины.

Для оценки способности сопротивляться воздействию больших сосредоточенных нагрузок шины подвергают испытаниям на прочность каркаса, которые имитируют взаимодействие шины с препятствием в дорожных условиях. Такие испытания проводятся путем статического продавливания ее на прессе, путем пробоя на копке или путем наезда на препятствие, устанавливаемое на барабане шинообкатного станка. Иногда такие испытания проводятся и в дорожных условиях.

Для дорожного испытания на шоссе заподлицо с покрытием устанавливается и закрепляется металлическая плита со сменными препятствиями. Препятствия выполняются из набора конических шайб и закругленной конической вершины. Это позволяет за счет постановки различного количества шайб регулировать высоту препятствия. Наезд на препятствие осуществляется левым передним колесом автомобиля (рис. 252). Это позволяет получить зависимости высоты разрушающего препятствия от внутреннего давления в шине и скорости автомобиля⁴². В качестве препятствий применялись конуса, составленные из набора шайб высотой 10 мм (рис. 253). Наибольшая высота препятствий—150 мм, угол при вершине конуса—30 и 70°, а радиусы закругления вершины—соответственно 20 и 7,5 мм. При наезде на препятствие со скоростью 30–40 км/ч протектор шины оставался целым и разрушение каркаса обычно обнаруживалось по небольшому вздутию в месте удара или перекосу шашек рисунка. При демонтаже шины после испытаний с внутренней стороны покрышки обнаруживался разрыв всех слоев каркаса. При более высокой скорости одновременно с разрывом каркаса обычно наблюдалось и местное разрушение протектора.

Испытания шин на пробой в дорожных условиях не получили распространения в связи с их сложностью и опасностью. Поэтому возникла необходимость в имитации наезда шины на препятствие в лабораторных условиях. Для этой цели используется шинообкатный станок, снабженный препятствием, которое выдвигается

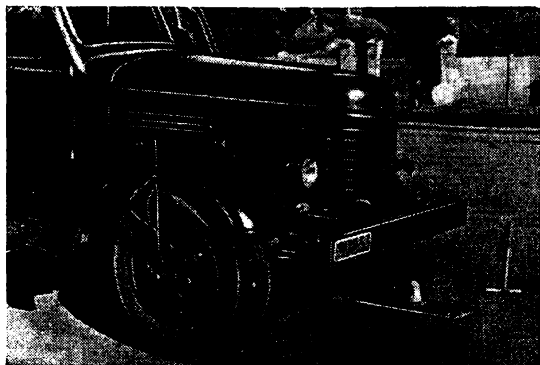


Рис. 252. Наезд автомобиля на препятствие при испытаниях.

на беговую поверхность барабана для однократного взаимодействия с шиной.

Соответствующее приспособление (рис. 254) состоит из механизма передвижения каретки и механизма управления. В направ-

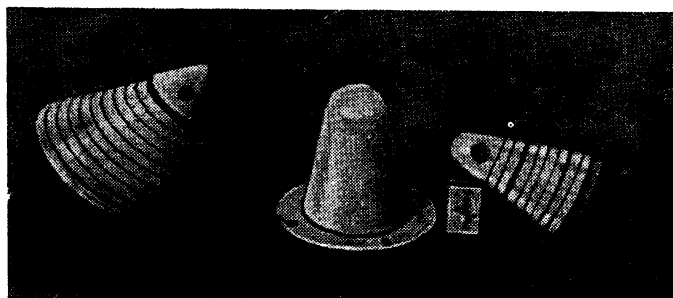


Рис. 253. Виды препятствий, использовавшихся при определении прочности каркаса шин при дорожных испытаниях.

ляющих корпуса 1 перемещается каретка 2. Препятствие навинчивается на штырь каретки, легко снимается и может быть заменено другим по форме или высоте. Для удержания каретки в крайнем взведенном положении и на середине беговой дорожки

барабана в корпусе расположен валик 3 с двумя кулачками (на рис. 254 кулачки, удерживающие каретку, не видны) и рычагом 4.

При вертикальном положении рычага 4 каретка, вследствие натяжения тросов 5, опирается своим выступом на один из кулачков валика 3. При повороте рычага 4, а следовательно, и валика кулачки высвобождают выступ каретки и под действием натяжения тросов каретка получает возможность перемещаться вдоль образующей барабана. Корпус 1 укреплен на ободке бара-

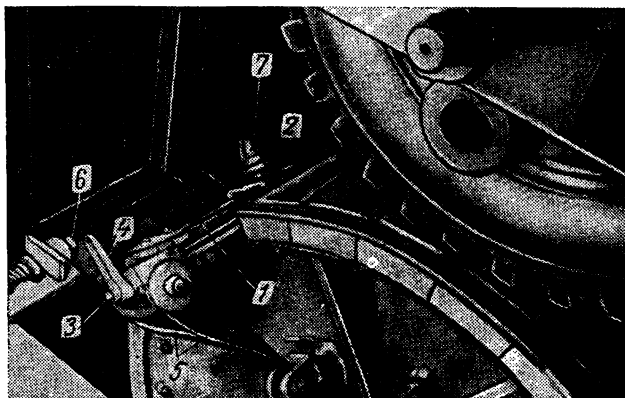


Рис. 254. Барабан шинообкатного станка с механизмом передвижения препятствия:

1—корпус приспособления; 2—каретка; 3—валик; 4—рычаг валика; 5—тросы; 6—палец соленоида; 7—препятствие.

бана шинообкатного станка. Натяжение тросов происходит под действием центробежных сил грузов, укрепленных на рычаге, установленном на беговом барабане, а также под действием пружины (на рис. 254 не показана), удерживающей рычаг в крайнем положении при неподвижном барабане.

Механизм управления работой приспособления укреплен на раме станка и состоит из соленоида с рычагом, возвратной пружины и пальца. При включении соленоида палец выдвигается. При выключении соленоида пружина возвращает палец в исходное положение. Соленоид включается дистанционно с пульта управления.

Перед началом испытаний каретка с препятствием отводится в крайнее положение и запирается кулачком валика. Во время обкатки шины в определенный момент включают соленоид и палец 6 выдвигается в сторону барабана. Рычаг 4 валика 3 при ударе по пальцу поворачивается вместе с валиком и его кулачками. При этом крайний кулачок отпирает каретку и она вместе с препятствием под натяжением тросов начинает двигаться вдоль

образующей барабана. После удара рычага 4 о палец соленоида возвратная пружина поворачивает валик в исходное положение, поэтому каретка с препятствием не проскакивает на противоположный край барабана, а упирается в средний кулачок и удерживается на середине беговой дорожки и шина наезжает один раз на препятствие. При повторном ударе рычага 4 о палец соленоида валик поворачивается и каретка убирается с беговой поверхности барабана.

Для определения зоны шины, взаимодействующей с препятствием, перед каждым наездом на препятствие вершина последнего окрашивается цветным восковым карандашом, который оставляет след на шине. Испытания начинают с наименьшей высоты препятствия, после двухкратного наезда высота каждый раз увеличивается на 5 мм до тех пор, пока не наступит разрушение шины. Разрушающая высота препятствия определяется как средняя по результатам испытания шины в 2—3 зонах. Прочность шин данной партии оценивается по результатам испытания двух-трех шин.

Испытания шин при наезде на препятствие дают эксплуатационную характеристику прочности каркаса шины. Эти испытания являются наиболее подходящими для сравнения прочности шин различных размеров или прочности шин при различных эксплуатационных режимах. Для сравнительной оценки прочности шин данного типа столь сложные испытания не являются необходимыми. В этом случае проводятся более простые испытания на копрах или прессах.

Испытания шин на копрах осуществляются путем сбрасывания смонтированной надутой шины на препятствие, установленное на плите (рис. 255), или сбрасыванием с определенной высоты препятствия с грузом на неподвижную шину (рис. 256).

Для того чтобы плита после сбрасывания не подпрыгивала несколько раз, копер (рис. 256) снабжен приспособлением, которое после отскока каретки с препятствием от шины автоматически задерживает ее в крайнем верхнем положении.

На рис. 257 приведена схема маятникового копра, разработанного в НИИ шинной промышленности.

При испытании на копрах определяется работа, затраченная на разрушение шины. С этой целью высоту сбрасывания или вес грузов постепенно увеличивают до тех пор, пока при ударе не наступит разрушение каркаса шины. При этом перед сбрасыванием шину каждый раз поворачивают так, чтобы удар не был нанесен дважды по одному и тому же месту. Для каждого размера шин устанавливается норма прочности—величина работы разрушения.

Иногда применяется другой метод испытания: при заведомо большой постоянной высоте падения каретки изменяется высота препятствия, выполняемого в виде набора конических шайб,

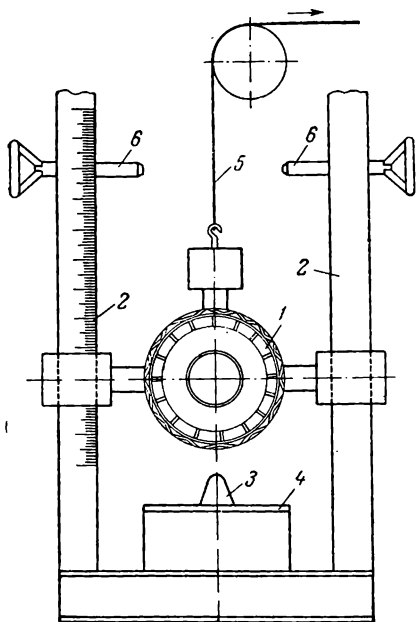


Рис. 255. Схема копра для испытания шин путем сбрасывания каретки с шиной:

1—шина; 2—направляющая; 3—боек; 4—плита; 5—трос; 6—стопор.



Рис. 256. Копер для испытания шин путем сбрасывания бойка.

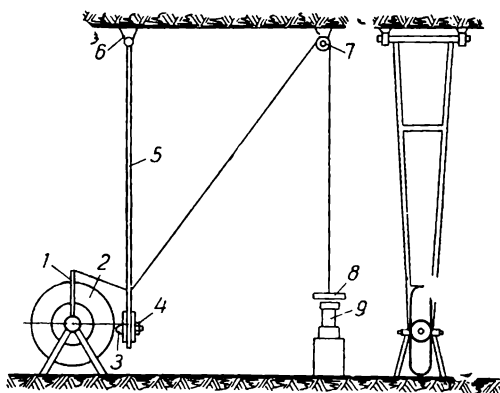


Рис. 257. Схема маятникового копра:

1—станина; 2—испытуемая шина; 3—боек; 4—сменный груз; 5—маятник; 6—подшипники; 7—ролик тормозной ленты; 8—тормозной груз; 9—пневматический подъемник тормозного груза.

и устанавливается высота препятствия, разрушающего шину.

Оба способа испытаний дают одинаковую сравнительную характеристику прочности шин и каждый из них является приемлемым.

Наибольшее распространение получили испытания шин на прочность каркаса методом продавливания. При этих испытаниях в шину медленно вдавливается наконечник определенной формы. Определяют величины усилия и деформации при разрушении шины; можно также определить работу, затраченную на разрушение.

Продавливание осуществляется обычно одним постоянным цилиндрическим или коническим наконечником в 4—6 местах шины. Прочность шины определяется как среднее из полученных показаний.

На рис. 258 приведен общий вид, а на рис. 259—принципиальная схема малого пресса для продавливания шин, разработанного в НИИ шинной промышленности.

В верхней части сварной прямоугольной рамы высотой в 2 м установлены цилиндр 6 с плунжером 7, масляный насос 2 и электродвигатель 1, перемещение плунжера вниз осуществляется давлением масла в цилиндре 6, а холостой ход вверх—при помощи специальных грузов 9, размещенных в вертикальных колоннах рамы.

Смонтированную шину устанавливают так, чтобы наконечник 8 плунжера слегка касался протектора шины 10, после чего закрывают краны сливных магистралей 15 и пускают двигатель 1 масляного насоса 2.

Масло из бака 17 поступает под давлением в рабочую полость цилиндра 6 и приводит в движение плунжер 7. При этом грузы 9 поднимаются вверх. В момент разрушения покрышки давление масла в цилиндре резко падает и контактный манометр 14, размыкая электрическую цепь, останавливает двигатель маслонасоса. Затем открывают краны 15 и при холостом ходе плунжера вверх масло поступает обратно в бак 17. Прибор 13 для измерения ве-

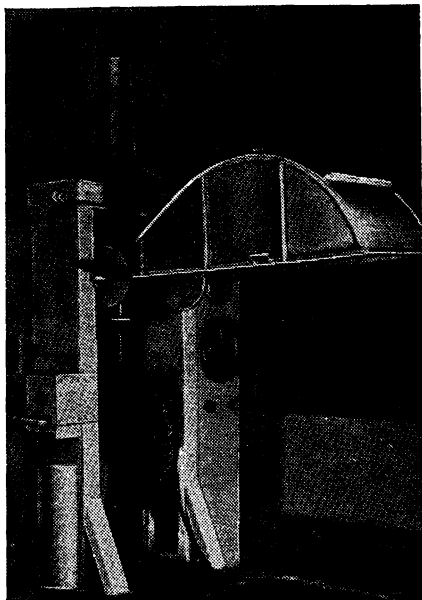


Рис. 258. Пресс для испытания шин продавливанием.

личины погружения наконечника в шину представляет собой цилиндрический валик, на оси которого закреплена стрелка. Плу́нжер связан гибким тросом через систему роликов с валиком прибора, циферблат которого имеет деления в миллиметрах. Изме́не-

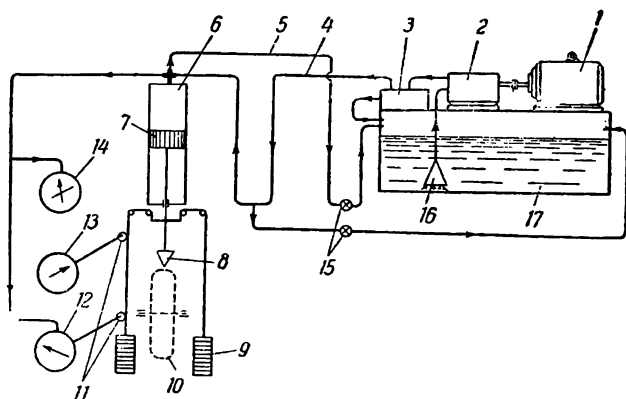


Рис. 259. Схема малого пресса для продавливания шин: 1—электродвигатель; 2—масляный насос; 3—клапанная коробка; 4—напорная магистраль; 5—сливная магистраль; 6—цилиндр; 7—плунжер; 8—наконечник; 9—грузы; 10—шина; 11—ролики троса; 12—манометр самописец; 13—прибор для измерения деформации шины; 14—контактный манометр; 15—краны; 16—фильтр масла; 17—масляный бак

ние нагрузки на шину, по мере продавливания, определяют по изменению давления масла в рабочей полости силового цилиндра; оно автоматически регистрируется самопишущим манометром 12.

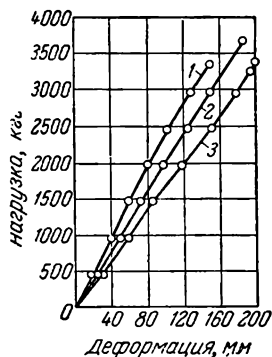


Рис. 260. Зависимость деформации шины 9,00—20 от нагрузки на боек при внутренних давлениях: 1—5,5 кгс/см²; 2—4,5 кгс/см²; 3—3 кгс/см².

На рис. 260 приведены характерные зависимости деформации шины от нагрузки на боек, полученные при продавливании шин 9,00—20. Как видно из графиков, усилие можно считать прямо пропорциональным деформации шины. При этом работа, необходимая для разрушения шины, определится из выражения

$$A = \frac{1}{2} PS = \frac{1}{2} pFS$$

где P —разрушающее усилие, S —разрушающая деформация, p —давление масла в цилиндре (за вычетом давления холостого хода), F —площадь поршня.

Опыты показали, что относительная оценка прочности каркаса не зависит от формы наконечника. Поэтому для оценки проч-

ности шин можно принять продавливающий наконечник одной формы. В НИИ шинной промышленности для испытаний грузовых шин принят наконечник с углом конуса 30° и радиусом закругления вершины 40 мм, а для легковых шин—с радиусом закругления 7,5 мм.

Для испытания на продавливание используется также пресс ОПШ-30 (см. рис. 235, стр. 293), при этом на его плите устанавливается препятствие такой же формы, как и на малом прессе.

Параллельные испытания на прочность каркаса на копре и прессе большого количества шин разной прочности, проведенные в НИИ шинной промышленности, показали, что работа разрушения шин при испытаниях на копре и работа разрушения шин при продавливании примерно равны друг другу. Также оказались равными величины разрушающих деформаций при испытании на копре и прессе.

Таким образом, опыты показали, что метод испытаний шин на прочность каркаса на копре не имеет преимуществ перед статическим. В связи с этим метод испытаний шин продавливанием как более простой и точный является наиболее подходящим для использования в практике заводских испытаний. Работа разрушения шин данного размера может служить в заводских условиях одним из показателей качества изделий.

Оценка износостойкости шин

Износ протектора является главной причиной выхода шин из строя при работе их в нормальных дорожных условиях. В настоящее время до 80—90% шин выбывает из эксплуатации после полного износа протектора.

Износостойкость шины определяется величиной удельного износа протектора, равной износу участков протектора, отнесенному к единице пробега (обычно 1000 км) в определенных дорожных условиях, и коэффициентом равномерности износа, равным отношению максимального удельного износа к среднему его значению для всей шины. Износ часто выражается в миллиметрах величины уменьшения высоты выступов рисунка протектора. Измерения производятся в этом случае глубиномером или механическим индикатором. Недостатком этого способа является низкая точность измерения (примерно $\pm 0,5$ мм при общей высоте рисунка 10÷15 мм), что объясняется деформацией резины под измерительным инструментом, а также затруднительностью производить замеры точно в одном и том же месте.

Иногда износ определяется весом всей стертой части протектора, отнесенным к пробегу шины, однако такой способ оценки дает только среднее значение износа и связан с затруднениями в точном взвешивании тяжелого колеса и необходимостью весьма тщательной его очистки при каждом замере.

Испытания шин на износ проводятся в лабораторных и дорожных условиях. Лабораторные испытания заключаются в качении шин по поверхности дорожного покрытия, укрепленного на барабанах обкатных станков или на плоских беговых дисках станков карусельного типа.

Испытания на станках проводятся иногда при передаче через колесо с испытываемой шиной крутящего момента. По некоторым данным, при увеличении крутящего момента с 5 кгс·м до 10 кгс·м интенсивность износа при обкатке шины по барабану со стальной рифленой поверхностью увеличивается в 4,5 раза.

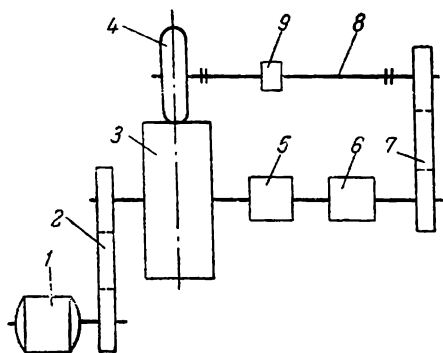


Рис. 261. Схема станка для обкатки шины с передачей крутящего или тормозного момента:

1—электромотор; 2—ременная передача; 3—беговой барабан; 4—испытываемая шина; 5—коробка с осями; 6—электромагнитная муфта; 7—цепная передача; 8—карданный вал; 9—датчик для измерения крутящего момента.

В связи с этим обстоятельством находят применение станки, в которых предусмотрена обкатка шины с передачей крутящего момента тормозным устройством (динамомашина, гидравлический тормоз и др.). В некоторых станках нагружение шины крутящим или тормозным моментом достигается применением замкнутой кинематической системы, обеспечивающей циркуляцию мощности. Схема одного из таких станков показана на рис. 261. Электромотор приводит в движение и передает крутящий момент замкнутой системе, состоящей из привода станка, бегового барабана, редуктора, электромагнитной муфты, цепной передачи, карданного вала прибора, регистрирующего величину крутящего момента, и колеса с испытываемой шиной.

В связи с тем, что шина приводится во вращение одновременно от барабана и от привода, можно, изменяя передаточные отношения в последнем, вستی испытания при передаче через шину крутящего или тормозного моментов.

Условия испытания на станках отличаются от дорожных условий, поскольку меняется характер взаимодействия шины с опорной поверхностью. Большие затруднения возникают также в связи с быстрым изменением состояния беговых поверхностей станков (замасливание, износ), вследствие чего результаты испытания становятся несравнимыми.

Большее распространение получили дорожные испытания на износ, проводимые в порядке ускоренных испытаний при напряженной работе автомобилей с балластом. В этом случае среднесу-

точный пробег достигает 600—800 км/сутки. В процессе испытаний производится перестановка колес по принятым в эксплуатации схемам. Замер износа производится в заранее отмеченных точках протектора обычно через каждые 1000 км пробега.

Испытания на износ шин производятся также в условиях нормальной эксплуатации автомобилей в автохозяйствах⁴³, что дает возможность получить наиболее достоверные сведения об износе. Однако такие испытания весьма продолжительны.

Для быстрого получения сведений об износоустойчивости шин применяются методы испытаний, основанные на фиксации износа тонкого поверхностного слоя протектора. К числу ускоренных способов определения интенсивности и характера износа шин относится измерение износа при помощи радиоактивных веществ и истиранием краски, нанесенной на протектор.

Один из способов, основанных на применении радиоактивных веществ, заключается в измерении активности следа шины на дороге. В верхний 4-миллиметровый слой протектора при изготовлении покрышки вводился трифенилфосфат, содержащий радиоактивный фосфор P^{32} . Измерения производились с помощью счетчика Гейгера, смонтированного на тележке, следовавшей на расстоянии одного метра от заднего «активного» колеса.

К недостаткам метода следует отнести недостаточную точность, так как активность следа была примерно равна уровню фона. Кроме того, трифенилфосфат неравномерно распределяется в верхнем слое протектора, диффундирует в резине к ее поверхности и активные частицы могут легко распыляться. Этот метод позволяет при небольших пробегах (несколько десятков или сотен метров) выявить качественное влияние различных факторов на износ, но не дает возможности количественно оценить износостойкость шины.

По методу, разработанному в Чехословацкой Республике, шина дополнительно активизируется бензольным раствором радиоактивной серы S^{35} , которая вводится в готовую покрышку путем набухания. Применение этого метода ограничено по тем же причинам, что и предыдущего, так как радиоактивная сера быстро диффундирует в резине и активность следа изменяется.

Имеются краткие данные о другом методе применения радиоактивной серы S^{35} . Последняя вводится под протектор, а износ определяется по изменению интенсивности излучения на поверхности шины.

НИИ шинной промышленности применяет метод использования радиоактивных веществ, заключающийся в введении в различные места протектора покрышки перед испытанием радиоактивных точечных источников, изготовленных на основе радиоактивного таллия Tl^{204} .

Источники длиной 0,3–0,5 мм и диаметром 0,2–0,5 мм с помощью медицинского шприца и плунжера (рис. 262) вводятся

в различные места протектора на глубину не более 1,5 мм. Замеряется активность источников.

Подготовленные таким образом шины в процессе пробега проходят серию замеров активности источников, по изменению которой определяется износ участка протектора, находящегося над источником. По мере износа протектора вводятся новые источники взамен выбывающих.

Для получения достаточных данных об износе шин необходимо испытание 4 шин, причем в каждую шину закладывается

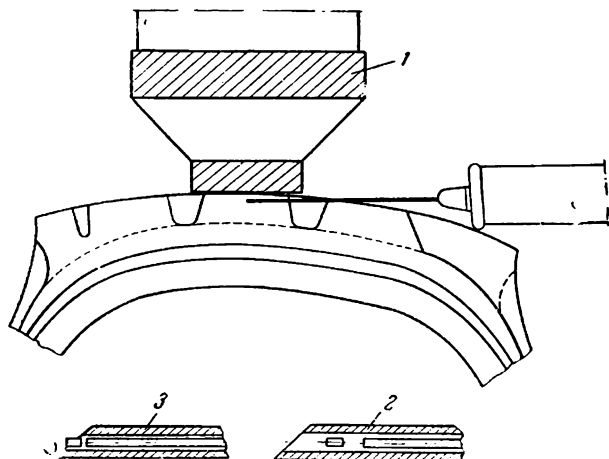


Рис. 262. Введение источников радиоактивного излучения в протектор шины:

1—датчик прибора ИМА (интенсиметр меченых атомов); 2—положение источника и плунжера в канале иглы при проталкивании; 3—положение источника и плунжера в момент выталкивания источника.

по 8 источников. Пробег шин для оценки износоустойчивости протектора с точностью на менее $\pm 10\%$, по данным авторов, должен составлять 1600 км. Предварительный пробег перед испытанием должен быть не менее 500 км.

Преимуществом описанного метода перед предыдущими является возможность оценивать износоустойчивость как новой шины, так и бывшей в употреблении, так как радиоактивное вещество вводится в покрывку непосредственно перед испытаниями. При использовании этого метода отпадает необходимость изготавливать шину с радиоактивными веществами, а также устраняется опасность загрязнения ими оператора, оборудования и дороги при проведении испытаний.

Более простая, но дающая менее точные результаты, методика ускоренного определения интенсивности и характера износа шин в дорожных условиях состоит в фиксации истирания краски, предварительно нанесенной на протектор.

Для получения данных, независимых от влияния дисбаланса, протектор окрывается в двух диаметрально противоположных участках, равно удаленных от «тяжелой» и «легкой» точек. Наносится тонкий слой цветной краски на участке, несколько большем зоны контакта. Износоустойчивость слоя краски после просыхания проверяется с помощью простого приспособления, фиксирующего продолжительность стирания краски образцом дорожного покрытия, на котором проводятся дорожные испытания.

Автомобиль на подготовленных таким образом шинах движется с заданной скоростью до полного истирания краски. Полученный пробег характеризует интенсивность износа в зависимости от конструкции шины. Влияние свойств протекторной резины не выявляется.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШИН

Испытания шин в условиях нормальной эксплуатации дают наиболее достоверные сведения об их долговечности.

Поскольку пробег шин в большой степени зависит от дорожных условий, испытания шин проводятся обычно на дорогах определенных групп.

Принято, в зависимости от влияния на километраж шин, делить дороги на три группы: А, Б, В (см. гл. VII, стр. 337).

Объективное суждение о состоянии дороги получается с помощью специального прибора—толчкомера системы ХАДИ. Этот прибор регистрирует суммарное (за 1 км) перемещение заднего моста относительно кузова автомобиля. Толчкомер, установленный на автомобиле М-20 («Победа»), дает на дорогах группы А показание 250—300 см/км, а на дорогах групп Б и В—соответственно 700—900 см/км и 1200—1500 см/км.

Для получения достоверных данных о пробеге шин до разрушения должны быть выполнены некоторые обязательные условия. Первым и главным из таких условий является достаточное количество шин, за эксплуатацией которых установлено наблюдение.

В связи с естественной неоднородностью качества шин и главным образом в связи с неоднородностью условий эксплуатации имеет место значительный разброс величин долговечности шин.

В этих условиях для определения среднего пробега шин с определенной точностью необходимо испытать по крайней мере, некоторое минимальное количество шин.

Результаты испытания партии n шин характеризуются средним их пробегом до разрушения S . Если разницу между пробегом каждой данной шины S_i и средним пробегом партии S обозначить через $S_i - S$ (отклонение), то разброс величин долговечности можно охарактеризовать среднеквадратичным отклонением:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (S_i - S)^2}{n}}$$

Относительной характеристикой разброса является так называемый коэффициент вариации:

$$v = \frac{\sigma}{S}$$

Теория вероятности позволяет определить количество шин, подлежащих испытанию, необходимое для того, чтобы их средний пробег с определенной точностью характеризовал средний пробег всех шин данной партии (общее число шин в партии предполагается весьма большим). Соответствующая формула имеет вид

$$n = \frac{t^2 v^2}{\Delta^2}$$

где Δ —допустимая относительная разница между средним километражем испытываемых шин и средним километражем всей партии шин, v —коэффициент вариации; коэффициент t выбирается в зависимости от необходимой надежности определения среднего километража.

При $t=2$ надежность результата составит 0,954, т. е. в 95 случаях из 100 средний пробег всех шин будет отличаться от среднего пробега испытанных шин не более чем на принятое значение Δ . При $t=3$ надежность составляет 0,99.

Обработка результатов многочисленных испытаний шин показала, что при испытании шин на дорогах одной группы коэффициент вариации v лежит в пределах $v=0,35—0,4$.

Тогда, принимая $t=2$ и ограничиваясь определением средней ходимости шин с точностью до 5% ($\Delta=0,05$), получим требуемое количество шин:

$$n = \frac{t^2 v^2}{\Delta^2} = 190 \div 250$$

Уменьшение количества испытываемых шин неизбежно приводит к менее надежному определению среднего пробега. В зависимости от назначения шин они испытываются на дорогах той или иной группы или на дорогах всех групп. При этом указанное количество шин должно испытываться на дорогах каждой группы.

Чтобы исключить влияние на результаты испытания случайных причин, не связанных с качеством шин, при проведении эксплуатационных испытаний устанавливается дополнительное наблюдение за техническим состоянием автомобилей (состояние ободов, тормоза, рулевое управление, сход и развал колес и т. д.). Контролируется также точное соблюдение правил эксплуатации шин (см. гл. VII, стр. 336).

Систематически проводится осмотр испытываемых шин для установления их состояния.

Шины, вышедшие из строя, тщательно анализируются для выявления причин разрушения, причем точно регистрируется пробег шины.

Полное заключение о среднем пробеге шин, за эксплуатацией которых установлено наблюдение, может быть сделано лишь после того, как все или почти все испытываемые шины выйдут из строя.

Ввиду этого эксплуатационные испытания являются весьма длительными и продолжаются, как правило, не менее двух лет, что затрудняет использование результатов испытаний для усовершенствования конструкции или технологии шин.

Можно установить, что еще задолго до полного окончания испытаний значительное количество шин уже выходит из строя, но «отсталые» шины, эксплуатирующиеся с меньшей интенсивностью, не позволяют сделать выводы о среднем километраже всех шин.

Поэтому большое практическое значение имеет метод оценки результатов неоконченных эксплуатационных испытаний шин⁴⁴. Этот метод позволяет устранять влияние «отсталых» шин на результаты и дает возможность оценивать средний километраж шин уже тогда, когда из строя выходит 25–30% всех испытываемых шин.

Основная идея метода состоит в том, что учет пробега ведется по определенным интервалам пробега (обычно 0–5 тыс. км, 5–10, 10–15 тыс. км и т. д.). Количество шин, вышедших из строя на данном интервале, относится не к полному количеству шин, а к количеству шин, фактически испытанных на данном интервале. При этом учитывается, что вследствие выхода шин из строя на более ранних интервалах количество шин, испытываемых на каждом интервале, кроме первого, меньше, чем общее количество шин в партии.

Данные о пробеге каждой шины к моменту предварительной обработки результатов испытаний заносят в специальные карточки (табл. 14). В соответствующей графе карточки отмечается (с точностью до 5000 км) достигнутый шиной пробег. Если шина не разрушалась, ставят точку, если она вышла из строя—условный знак, обозначающий причину выхода.

Затем по каждому столбцу карточки подытоживают число шин, прошедших данный интервал (a), остановившихся на данном интервале (d) и выбывших (b). Выбывшие шины классифицируют также по причинам разрушения. Итоговые данные по всем карточкам, составленным на шины данной партии, суммируют и сводят в таблицу, являющуюся основой дальнейших расчетов.

Рассмотрим определение процента шин, выбывших до данного пробега.

Пусть на интервале 0–5 тыс. км было b_5 шин; полное число шин, испытанных на этом интервале, равно сумме прошедших его (a_5) и выбывших (b_5).

Таким образом, процент шин, выбывших на интервале 0–5 тыс. км, определяется формулой

$$n_5 = \frac{b_5}{a_5 + b_5} \cdot 100$$

Поскольку, при закончившихся испытаниях, на первом интервале испытываются все без исключения шины, величина n_5 представляет собой одновременно процент вышедших шин как по отношению к шинам, испытанным на данном интервале, так и ко всей партии.

Аналогично можно определить процент шин, вышедших на интервале 5—10 тыс. км, в отношении к количеству шин, испытанных на этом интервале:

$$\Delta n'_{10} = \frac{b_{10}}{a_{10} + b_{10}} \cdot 100$$

Так как на втором интервале испытывается не вся партия шин, а лишь часть ее, равная $\frac{100 - n_5}{100}$, то процент шин, вышедших на этом интервале, в отношении ко всей партии составляет:

$$\Delta n_{10} = \frac{b_{10}}{a_{10} + b_{10}} (100 - n_5)$$

Суммарный процент шин, вышедших до 10 тыс. км, составляет:

$$n_{10} = n_5 + \frac{b_{10}}{a_{10} + b_{10}} (100 - n_5)$$

Таким же образом определяют процент шин, вышедших из строя до 15, 20 и т. д. тыс. км:

$$n_{15} = n_{10} + \frac{b_{15}}{a_{15} + b_{15}} (100 - n_{10})$$

$$n_{20} = n_{15} + \frac{b_{20}}{a_{20} + b_{20}} (100 - n_{15})$$

и т. д.

Такие расчеты дают достаточно надежные результаты до тех пор, пока число шин, испытанных на последнем интервале, настолько велико, что определяет качество шин всей партии.

Число шин, испытанных в последнем интервале номера i , составляет $a_i + b_i$, а соответствующий размер партии

$$N_i = (a_i + b_i) \frac{100}{100 - n_{i-1}}$$

Для надежности данных число N_i должно быть достаточно велико абсолютно (например, $N_i > 50$) или в отношении действительной партии a_0 (например, $\frac{N_i}{a_0} > 0,5$).

Эти ограничения определяют возможность продолжения расчета до того или иного пробега.

По расчетным данным строят график изменения количества вышедших из строя шин в зависимости от пробега (рис. 263). Такой график позволяет охарактеризовать ходимость шин. На графике

показано количество шин, вышедших из строя до того или иного километража (в частности, до гарантийного).

Средний пробег шин до разрушения определяется формулой

$$S_{\text{ср.}} = \frac{1}{100} \int S dn$$

где интеграл представляет собой площадь, заштрихованную на рис. 263.

Эту величину можно определить планиметрированием или по формуле трапеций:

$$S_{\text{ср.}} = \frac{1}{100} [n_5 \cdot 2,5 + (n_{10} - n_5) 7,5 + (n_{15} - n_{10}) 12,5 + \dots] \text{ тыс. км}$$

или

$$S_{\text{ср.}} = S_i - 2,5 - \frac{1}{20} (n_5 + n_{10} + \dots + n_{i-1}) \text{ тыс. км}$$

где S_i — максимальный километраж последнего интервала, на котором вышли шины.

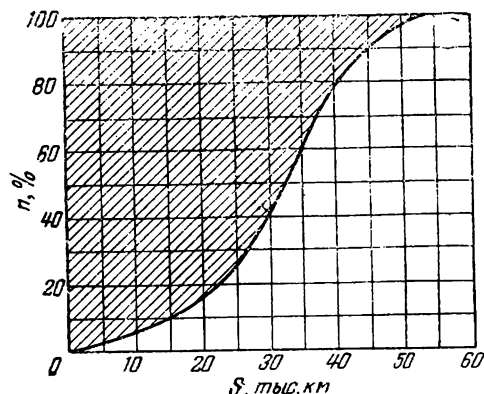


Рис. 263. Зависимость количества вышедших из строя шин от пробега.

График $n(s)$, построенный по предлагаемой методике на основе данных неоконченных испытаний, приближается к графику, получаемому по данным окончанных испытаний, и по нему можно делать те же выводы. Однако, когда обработка результатов проводится на ранней стадии испытания, кривая еще далеко не доходит до уровня 100% и для вычисления среднего километража по партии необходимо экстраполировать кривую.

Поскольку кривые распределения пробега шин близки к симметричным, средний пробег партии шин мало отличается от пробега, при котором выходят из строя 50% шин. Поэтому вместо экстраполяции кривых можно приближенно принять, что средний пробег партии определяется точкой пересечения кривой на графике с уровнем $n=50\%$.

В 1954—1955 гг. по предложенной методике в лаборатории эксплуатационных испытаний НИИШ.1 были обработаны данные испытаний свыше 1700 шин, изготовленных на разных заводах. Эти шины были на ранней стадии испытания (9—12 месяцев с начала сдачи в эксплуатацию). Затем испытания этих шин были за-

кончены и можно было сравнить те прогнозы ходимости шин, которые делались по данным незаконченных испытаний, с действительной их ходимостью.

Эти данные по ряду партий приведены в табл. 15.

Таблица 15

Сравнительные результаты испытаний шин

№ партии	Число шин в партии шт.	Число шин, выбывших к моменту обработки		Средний пробег партии шин тыс. км		Процент шин, выбывших до 30 тыс. км	
		шт.	%	по прогнозу	фактически	по прогнозу	фактически
Дороги группы А							
1	72	20	30	50	51,4	5,5	6,7
2	102	33	38	46	44	11,2	11,5
3	72	15	22	36	33,6	35	29
Дороги группы Б							
4	101	35	35	44	41	11,3	12,9
5	115	29	25	47	43,2	8	9,4
6	108	35	33	37	33	31	35
7	180	78	43	28	28,8	52	50,3
8	187	41	23	35,5	33,4	26,2	21,8
9	168	49	29	39	32,7	32	29

Во всех случаях прогноз ходимости шин составлен по пересечению кривой с уровнем $n=50\%$.

Как видно из таблицы, оценка среднего пробега партии достаточно точна уже тогда, когда количество выбывших из эксплуатации шин достигает 25—30%.

Используя разработанный метод, можно не только оценивать общую ходимость партии шин, но и строить нарастающие графики выхода шин из строя по различным дефектам.

Так, если число шин, вышедших по какому-либо дефекту (например, разрыву каркаса) на интервалах 0—5, 5—10, 10—15 тыс. км и т. д., равно соответственно c_5, c_{10}, c_{15} и т. д., то расчетные значения процента выбывших по этому дефекту шин до данного километража определяют по формулам:

$$n_5^p = \frac{c_5}{a_5 + b_5} \cdot 100$$

$$n_{10}^p = n_5^p + \frac{c_{10}}{a_{10} + b_{10}} (100 - n_5)$$

$$n_{15}^p = n_{10}^p + \frac{c_{15}}{a_{15} + b_{15}} (100 - n_{10})$$

и т. д.

В приведенных формулах n_5 , n_{10} и т. д. полный процент шин, вышедших до данного километража, подсчитанный по приведенным выше формулам.

Следует отметить, что при незаконченных испытаниях количество шин, вышедших из строя по данному дефекту, определяется лишь приближенно, так как на разных стадиях испытания шины выходят из строя по различным причинам.

По данным, приведенным в карточках учета и итоговых таблицах, наряду с ожидаемым средним пробегом шин можно вычислить также и другие величины, характеризующие ход испытаний.

Так, средний пробег всей партии шин (включая выбывшие) определяют по формуле

$$S_{\text{ср.}} = \frac{1}{a_0} [(b_5 + d_5) \cdot 2,5 + (b_{10} + d_{10}) 7,5 + \dots]$$

где a_0 — размер всей партии шин.

Средний пробег шин, находящихся еще в эксплуатации, равен:

$$S_{\text{эксп.}} = \frac{d_5 \cdot 2,5 + d_{10} \cdot 7,5 + \dots}{d_5 + d_{10} + d_{15} + \dots}$$

Средний пробег выбывших шин:

$$S_{\text{выб.}} = \frac{b_5 \cdot 2,5 + b_{10} \cdot 7,5 + b_{15} \cdot 12,5 + \dots}{b_5 + b_{10} + b_{15} + \dots}$$

Приведенный метод обработки результатов незаконченных эксплуатационных испытаний позволяет, как правило, получать надежные данные о ходимости шин в течение года после начала испытаний

УСКОРЕННЫЕ ДОРОЖНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШИН

В связи с большой длительностью испытаний шин в условиях нормальной эксплуатации и необходимостью для таких испытаний большого количества шин, для быстрой оценки качества шин новой конструкции или шин, изготовленных по новой технологии, проводятся ускоренные дорожные испытания.

При ускоренных дорожных испытаниях шины испытываются на автомобилях, загруженных балластом, при больших среднесуточных пробегах.

В этих условиях пробег шин до разрушения или износа существенно меньше эксплуатационного.

Поэтому ускоренные дорожные испытания шин проводятся всегда как испытания сравнительные, при которых параллельно испытывается несколько вариантов шин, качество которых затем сравнивается. Обычно в качестве одного из вариантов испытывается эталон — стандартные шины.

Количество испытываемых шин каждого варианта, как правило, невелико—обычно до 20 шин.

Ввиду этого для получения надежных результатов принимаются специальные меры, чтобы все шины работали в совершенно одинаковых условиях. С этой целью автомобили с испытываемыми шинами движутся по одной определенной трассе. Для исключения влияния индивидуальных особенностей автомобиля и водителя шины периодически переставляются с одного автомобиля на другой. Ведется особенно тщательное наблюдение за внутренним давлением в шинах и за техническим состоянием автомобиля.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ШИН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Нормальная работа шин и их долговечность в большой мере зависят от условий эксплуатации.

Шины выходят из строя вследствие полного износа протектора или вследствие развития других дефектов (повреждений).

Выход шин из строя по износу протектора при достаточно высоком пробеге является нормальным. Шины с изношенным протектором могут быть в большинстве случаев отремонтированы путем наложения нового протектора.

Другие виды разрушения шин—разрывы каркаса, расслоения каркаса, отслоения протектора или связаны обычно с недостаточным высоким качеством шин или являются результатом их неправильной или неосторожной эксплуатации.

В качестве примера ниже приведены наиболее характерные дефекты грузовых шин 260—20 и примерная частота их появления:

	Частота появления дефектов %
Износ протектора	73,8
Отслоение протектора	0,5
Разрыв каркаса	4,9
Расслоение каркаса	0,9
Пробои, порезы	19,7
Прочие дефекты	0,2

Практически далеко не всегда можно установить, вызван ли данный дефект, приведший к разрушению шины, плохим ее качеством или неправильной эксплуатацией. Частота появления таких явно эксплуатационных дефектов шины, как пробои, также в большой мере зависит от прочности каркаса шины. С увеличением прочности каркаса, даже при неизменных условиях эксплуатации, количество повреждений шин резко снижается.

При данном качестве шин их долговечность в большой мере зависит от правильного выбора режима их эксплуатации, от технического состояния автомобилей, мастерства водителей, от организации ухода за шинами и своевременного их ремонта⁴⁵.

Правильная организация эксплуатации шин приводит к значительному сокращению количества шин, выходящих из строя на низком пробеге, и к увеличению среднего пробега шин. Тем самым достигается большая экономия средств и материалов, расходуемых на производство шин, снижается стоимость эксплуатации автотранспорта.

ВЛИЯНИЕ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ И КЛИМАТА НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ШИН

По принятой в СССР классификации дороги разделяются на пять категорий, приведенных в табл. 16.

Таблица 16

Классификация дорог

Категория дороги	Расчетная скорость движения одиночных легковых автомобилей км/ч	Интенсивность движения (количество автомобилей в сутки)	Максимальный продольный уклон %	Типы дорожных покрытий
Первая . . .	120	Более 5000	4	Усовершенствованные (капитальные)
Вторая . . .	100	3000—5000	5	
Третья . . .	80	1000—3000	6	Усовершенствованные (облегченные), переходные
Четвертая .	60	200—1000	7	Усовершенствованные (облегченные), переходные, низшие
Пятая . . .	40	Менее 200	9	Переходные, низшие

Примечание. Имеются в виду следующие виды дорожных покрытий: усовершенствованные (капитальные): асфальтобетонные, брусчатые мостовые; усовершенствованные (облегченные): черные щебеночные, черные гравийные; переходные: щебеночные, гравийные, шлаковые, грунто-щебеночные, грунтовые, укрепленные вяжущими материалами; низшие: грунтовые и грунтовые, укрепленные добавками.

Долговечность шин зависит не только от типа дорожного покрытия, но главным образом от его состояния. Поэтому по влиянию на долговечность шин дороги принято делить на три группы: А—дороги I и II категории в удовлетворительном состоянии, Б—дороги III, IV и V категорий в удовлетворительном состоянии, В—дороги всех категорий в неудовлетворительном состоянии.

По данным НИИ шинной промышленности, пробег шин при работе на дорогах группы Б на 20÷25% ниже, а на дорогах группы В на 40—50% ниже пробега их при работе на дорогах группы А.

Амортизационный пробег на горных дорогах на 15—20% ниже, чем на дорогах в равнинной местности. На таких дорогах

при наличии очень большого числа поворотов и уклонов ускоряется износ протектора.

При работе автомобилей в каменных карьерах и на разработках руды оказывают влияние неудовлетворительное дорожное покрытие и горный рельеф. В этих условиях увеличивается количество порезов, пробоев, разрывов каркаса покрышек, ускоряется износ протектора и пробег снижается на 30÷50% по сравнению с пробегом на равнинных дорогах с ровным твердым покрытием.

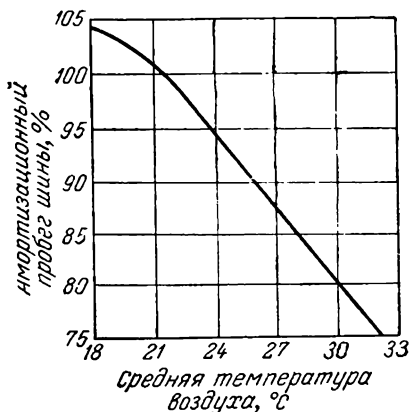


Рис. 264. Примерная зависимость пробега шин от температуры воздуха.

нагрева шины и соответствующие изменения прочности шинных материалов. Примерная зависимость пробега шин от температуры воздуха показана на рис. 264. За 100% принят пробег при температуре 22°C.

На влажных или заснеженных дорогах интенсивность износа протектора уменьшается.

Имеет значение также снижение эксплуатационных скоростей автомобилей в зимних условиях. Как показывают статистические данные, при эксплуатации осенью и зимой пробег шин до разрушения на 25—30% выше, чем весной и летом (в условиях средней полосы).

РЕЖИМ РАБОТЫ ШИН

Режим работы шины определяется величиной радиальной нагрузки, внутренним давлением и скоростью движения автомобиля.

Эти факторы являются взаимосвязанными; так, при повышении эксплуатационной скорости автомобиля рекомендуется снижать допустимую нагрузку на шину. Наоборот, при низких скоростях движения можно допустить увеличение нагрузки на шину при одновременном повышении внутреннего давления.

Величина допустимой нагрузки для шин при нормальных условиях эксплуатации определяется соответствующими ГОСТ и нормами*. Повышение нагрузки на шину сверх максимально рекомендуемой приводит к уменьшению ее пробега (рис. 265).

Эксплуатационные скорости определяются типом и назначением автомобиля. С увеличением скорости движения автомобиля пробег шин до разрушения уменьшается (рис. 266).

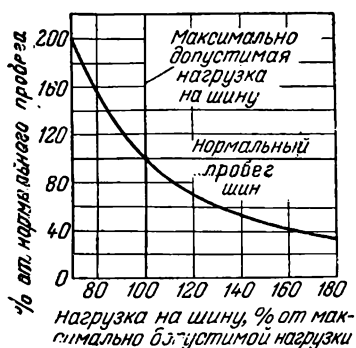


Рис. 265. Примерная зависимость пробега шин от нагрузки.

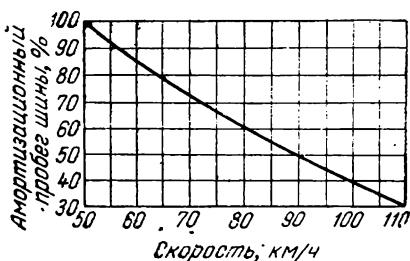


Рис. 266. Примерная зависимость пробега шин от эксплуатационной скорости.

Важнейшим условием правильной эксплуатации шины является выбор и поддержание оптимального внутреннего давления.

Оптимальное внутреннее давление зависит от условий эксплуатации шины. Изменение иногда даже одного из эксплуатационных факторов требует изменения давления. Так, для движения с высокими скоростями (например, на гоночных автомобилях) внутреннее давление выбирается значительно большим, чем при эксплуатации в обычных условиях. Для увеличения допустимой нагрузки на шину в случае работы на низких скоростях (например, на дорожных машинах) внутреннее давление повышают. Такой выбор внутреннего давления для каждого заданного режима эксплуатации создает наиболее благоприятные условия для работы шин и обеспечивает максимальную продолжительность их службы.

График, представленный на рис. 267, показывает, что наибольший срок службы шин в заданных условиях достигается при определенном значении внутреннего давления. На практике шины работают в различных условиях, в связи с чем для заданной нагрузки устанавливается величина внутреннего давления, которая отвечает средним эксплуатационным условиям.

Повышение внутреннего давления влечет за собой уменьшение амплитуды изменения напряжений, и величина максимального

* Основные соображения, используемые при установлении норм нагрузки, рассмотрены в гл. II (стр. 163).

напряжения увеличивается. Если шины с повышенным внутренним давлением наезжают на препятствие, то возможны случаи разрыва каркаса, так как нити корда перенапряжены.

При понижении внутреннего давления деформации нитей корда становятся знакопеременными, увеличивается амплитуда изменения деформаций.

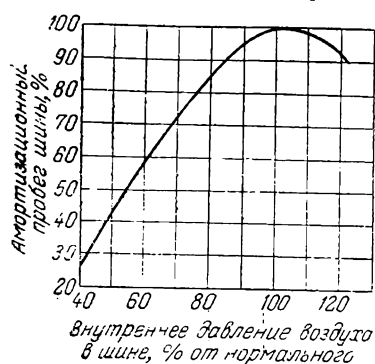


Рис. 267. Примерная зависимость пробега шин от величины внутреннего давления.

При таком режиме эксплуатации шины быстрее наступает усталостное разрушение нитей корда. В местах наибольшей деформации изгиба на боковых стенках по внутренней поверхности образуется темная полоса по всей окружности покрышки. В дальнейшем при более продолжительной эксплуатации шины с пониженным внутренним давлением в месте расположения темной полосы происходит отделение нитей корда внутреннего, а затем и других слоев каркаса от резины с последующим разломачиванием нитей и их

разрывом. В результате наступает кольцевой излом боковины каркаса.

При движении автомобиля на шинах со сниженным давлением резко увеличивается нагрев шин (рис. 268), что сильно сказывается на сроке их службы. При возрастании температуры падает прочность материалов (резины, корда) и прочность связи элементов шины. Повышенные напряжения и дополнительный нагрев шины приводят часто к местному расслоению каркаса покрышки.

В очагах расслоения еще больше повышается температура, так как возникает трение между слоями корда. В этих условиях часто происходит разрыв шины.

Необходимо отметить, что в некоторых эксплуатационных условиях повышение давления также вызывает увеличение нагрева шины. Это связано с возрастанием давления на площади контакта и повышением динамических нагрузок, воспринимаемых шиной, когда автомобиль движется по неровным дорогам.

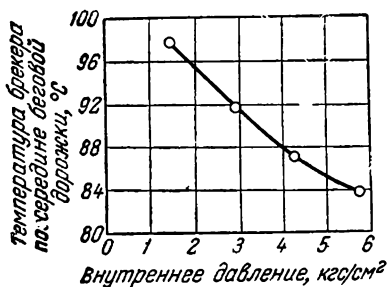


Рис. 268. Зависимость температуры в зоне брекера шины 34×7 от внутреннего давления (обкатка на станке со скоростью 40 км/ч, нагрузка 1200 кгс).

Весьма существенно зависят от внутреннего давления как абсолютная величина износа покрышек, так и характер износа. При значительно уменьшенном внутреннем давлении наблюдается так называемый «мостовой эффект»: в средней части протектора давление на площади контакта резко падает и вся нагрузка передается по краям беговой дорожки. В этом случае получается неравномерный износ протектора; края беговой дорожки сильно изнашиваются, в то время как средняя его часть остается почти неизменной. Такой неравномерный износ приводит к уменьшению срока службы шины. Превышение внутреннего давления также вызывает нежелательные последствия—интенсивное изнашивание средней части протектора. Кроме того, при увеличенном внутреннем давлении иногда появляются трещины в подканавочном слое протектора на границах выступов рисунка.

Таким образом, отклонение внутреннего давления в шине от оптимальных величин, соответствующих конкретным эксплуатационным условиям, приводит к более напряженному режиму работы ее элементов и вследствие этого к уменьшению срока службы.

Нормальная эксплуатация автомобилей предусматривает движение их на дорогах с ровным твердым покрытием. Для этих условий оптимальным является внутреннее давление, устанавливаемое при проектировании шины и зафиксированное ГОСТ. Когда автомобили эксплуатируются на плохих, неровных дорогах, внутреннее давление целесообразно в отдельных случаях снижать. Некоторое снижение внутреннего давления способствует в таких условиях уменьшению динамических нагрузок. Вместе с тем при движении по мягким грунтовым дорогам снижение внутреннего давления в шинах повышает проходимость автомобиля (см. гл. V, стр. 254).

Целесообразность снижения внутреннего давления на плохих дорогах изучалась посредством испытания шин при различном внутреннем давлении.

Эксплуатация автомобилей проводилась в основном на дорогах с твердым, но неровным покрытием, отличающихся друг от друга состоянием покрытия: на дорогах III, IV категорий—щебечных, шлаковых, булыжных и из колотого камня.

Результаты испытаний шин показали, что снижение внутреннего давления в этих дорожных условиях обеспечивает повышение долговечности шин в пределах $10 \div 60\%$ (табл. 17) для разных размеров и партий шин, отличающихся как конструкцией, так и применяемыми для их изготовления материалами.

Благодаря снижению внутреннего давления в шинах, эксплуатировавшихся на неровных дорогах, уменьшилось число разрывов каркаса в шинах ряда партий в пределах 15% , что в конечном итоге обеспечило повышение срока их службы. Эксплуатация шин со сниженным внутренним давлением на дорогах с ровным покрытием не дала положительных результатов.

Влияние снижения внутреннего давления на долговечность шин на плохих дорогах

Обозначение шины	Модель автомобиля	Давление в шинах, кгс/см ²		Пробег шин* %
		переднего колеса	заднего колеса	
260—20	ЗИЛ-150	3,5	4,5 (нормальное)	100
		3,0	3,5 (пониженное)	119
		3,5	4,5 (нормальное)	100
		3,0	3,5 (пониженное)	125
		3,5	4,5 (нормальное)	100
		3,0	3,5 (пониженное)	109
210—20	ЗИЛ-5	4,0	5,0 (нормальное)	100
		3,0	4,0 (пониженное)	159
		4,0	5,0 (нормальное)	100
		3,0	4,0 (пониженное)	112
12,00—20	ЯАЗ-210Е	5,0	5,5**	100
		4,5	4,5 (пониженное)	120
		3,5	3,5 (пониженное)	139

* Пробег шин при эксплуатации с нормальным давлением (по ГОСТ) принят за 100%.

** Нормальное давление для шин передних и задних колес 5,0 кгс/см².

При работе шин с повышенным на 10—15% против нормы внутренним давлением срок их службы снизился, причем это особенно было заметно на дорогах с твердым неровным покрытием.

При выборе внутреннего давления в шинах следует также принимать во внимание влияние этой величины на работу других механизмов и деталей автомобиля.

Пониженное внутреннее давление благоприятно сказывается на комфортабельности езды и сохранности автомобиля при работе его в условиях неровных дорог, так как в этом случае снижение давления в шинах уменьшает динамические нагрузки. Сниженное давление в таких условиях также может вызвать уменьшение расхода топлива автомобилем благодаря снижению затрат энергии на вертикальные перемещения автомобиля при наезде на неровности.

Некоторое повышение внутреннего давления может быть целесообразным при движении с большими скоростями по дорогам с ровным твердым покрытием. В этом случае несколько снижается коэффициент сопротивления качению и улучшается динамичность автомобиля. При этом может также несколько снизиться нагрев шины.

Таким образом, при эксплуатации автомобилей в условиях дорог, имеющих твердое, но неровное покрытие, целесообразно снижать внутреннее давление на 10÷15% в сравнении с нормами.

При движении с большими скоростями по дороге с твердым ровным покрытием давление в шинах может быть повышено на 10÷15%. При эксплуатации автомобилей в условиях нормальных дорог и при средних скоростях движения следует строго соблюдать нормы внутреннего давления, данные в ГОСТ.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ШИН

Большое влияние на пробег шин имеют правильность и своевременность их технического обслуживания.

По данным НИИШП, около половины преждевременно разрушившихся шин выходят из строя вследствие нарушения правил их эксплуатации.

Уход за шинами в основном заключается в правильной подготовке их к эксплуатации, поддержании оптимального внутреннего давления воздуха и контроле других факторов, влияющих на режим эксплуатации шин (наблюдение за нагрузкой на шины, правильностью приемов вождения автомобиля, исправностью ходовой части автомобиля).

Правильность подбора шин и колес и выполнения монтажно-демонтажных работ играет большую роль в сохранении шины. Шина должна монтироваться на обод, предусмотренный ГОСТ.

Применение несоответствующих колес может вызвать повреждение бортов покрышки как при монтаже-демонтаже, так и в эксплуатации.

Разрушение бортов покрышки при эксплуатации шины на ободе с неправильной величиной посадочного диаметра, не соответствующей шине высотой или конфигурацией закраины, происходит вследствие концентрации давлений в посадочных местах или вследствие перемещения борта относительно обода при качении колеса.

К нежелательным последствиям приводит также неправильный подбор по размеру камер к покрышкам. Чрезмерное растяжение камеры или образование складок в связи с недостаточным растяжением ее приводит к разрыву камеры и может вызвать повреждение покрышки.

Неправильное комплектование шин спаренных задних колес грузовых автомобилей, заключающееся в установке покрышек, имеющих различный рисунок протектора (дорожный и повышенной проходимости) или различный износ, приводит к неравномерному распределению нагрузки на шины. При этом более нагруженная шина имеет ускоренный износ. Менее нагруженная шина изнашивается неравномерно, отдельными участками протектора, которые нагружаются при вертикальных колебаниях автомобиля.

Монтаж-демонтаж шин в автохозяйствах должен производиться на специальных станках. Пользование ручными лопатками

нельзя считать целесообразным, учитывая возможность повреждения бортовой части покрышки. Станки для монтажа и демонтажа шин имеют пневматический, гидравлический или электрический привод. На станках для монтажа шин, работающих на глубоких цельных ободах, производится сдвигание бортов с полок обода и передвижение их через закраины (при демонтаже) или передвижение через закраины и накачка шин (при монтаже). На станках для грузовых шин, работающих на разборных ободах, чаще выполняется только основная операция демонтажа, заключающаяся в сдвигании бортов с полок обода.

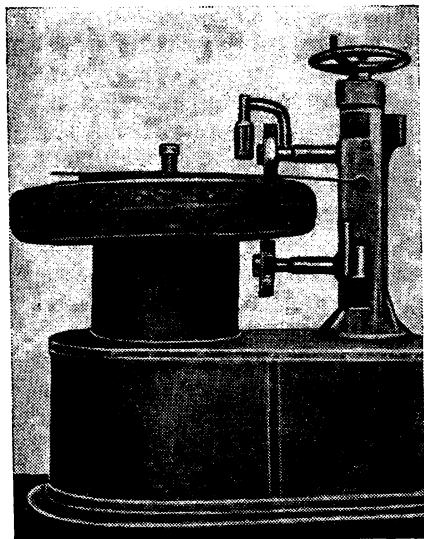


Рис. 269. Станок для монтажа и демонтажа легковых шин.

Общий вид одного из станков для демонтажа и монтажа шин легковых автомобилей показан на рис. 269.

После монтажа легковых шин на обод необходимо проводить балансировку колеса в сборе. Современные легковые автомобили имеют значительные скорости движения, в связи с чем балансировка колес весьма важна. При несбалансированном колесе во время движения автомобиля происходит повышенный износ шин и механизмов ходовой части, а также снижается безопасность движения в связи с ухудшением управляемости автомобиля.

Покрышки легковых шин балансируются на шинных заводах, при этом фиксируется «легкая» точка.

Балансировка нового колеса в сборе производится на автомобильных заводах. Балансировка колес в автохозяйствах должна производиться после каждого ремонта шины.

Для балансировки применяются специальные станки, на которых выполняется статическая или динамическая балансировка. На некоторых станках выполняются оба вида балансировки. При статической балансировке центр тяжести колеса совмещается с осью вращения, и таким образом устраняется несбалансированная инерционная сила, действующая в плоскости качения (рис. 270, а).

Если центр тяжести колеса смещен от оси вращения на расстояние e , то возникающая центробежная сила составляет $\frac{Pe}{g} \omega^2$,

где P —вес колеса, ω —угловая скорость его вращения. Произведение $P\omega$ носит название дисбаланса колеса.

Динамическая балансировка дополняет статическую, так как дает возможность также устранить действие момента сил инерции, стремящегося повернуть колесо в направлении, перпендикулярном к плоскости качения (рис. 270, б).

Простейший станок для статической балансировки представляет собой вертикальную станину, на которой на подшипниках горизонтально расположен вал. На валу закрепляется балансируемое колесо. «Тяжелая» точка колеса определяется путем вращения его попеременно в обе стороны и самопроизвольной остановки. При этом «тяжелая» точка колеса окажется внизу. При вращении колеса в разные стороны это место несколько смещается, так как «тяжелая» точка не доходит до низшего положения вследствие трения в подшипниках.

«Тяжелая» точка находится в середине расстояния между низшими точками, полученными при вращении колеса в разные стороны. Часто, для уменьшения влияния сил трения, вал балансировочного станка закрепляется в подшипниках, наружные ободы которых вращаются мотором в противоположные стороны. С помощью специального устройства балансировочный станок позволяет не только определять положение «тяжелой» точки, но и устанавливать величину дисбаланса.

В случае необходимости статическую балансировку можно проводить на ступице приподнятого переднего колеса автомобиля.

После балансировки для уравнивания колеса в противоположных тяжелым местам частях обода закрепляются балансировочные грузики; величина грузиков подбирается по показаниям станка и проверяется повторением балансировки. Дисбаланс колеса измеряется произведением веса, уравнивающего грузики, на расстояние его от центра оси колеса. Для шин легковых автомобилей ГОСТ допускает дисбаланс не более 1 кгс·см.

Динамическая балансировка производится на станках с валом, качающимся в опорах. Колесо, укрепляемое на валу, при наличии динамической неуравновешенности при вращении наклоняется к вертикальной плоскости. Фиксируемые угол наклона и положение колеса в плоскости вращения в момент наклона характеризуют величину и расположение дисбаланса.

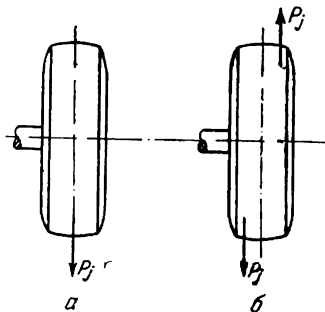


Рис. 270. Инерционная нагрузка, возникающая: а—при статической; б—при динамической несбалансированности колеса.

В процессе эксплуатации шин необходимо строго соблюдать нормы нагрузки на шину и внутреннего давления в ней.

Так как перегрузка шин приводит к резкому снижению их пробега, следует следить за тем, чтобы автомобиль не был перегружен и чтобы груз был правильно распределен в кузове. Внутреннее давление в шинах должно регулярно проверяться с помощью достаточно точного манометра, и в случае необходимости шины нужно подкачивать. Проверка давления проводится на холодных шинах до начала движения. При езде шины нагреваются и давление в них повышается. Спускать давление в разогретой шине нельзя, так как нормы внутреннего давления учитывают его подъем при движении.

Вождение автомобиля

Влияние приемов вождения автомобиля на сохранность всех его деталей весьма значительно. Так известно, что межремонтный пробег автомобиля в зависимости от квалификации водителя может измениться в несколько раз. Долговечность шин еще в большей степени зависит от качества вождения автомобиля, так как все силы взаимодействия с дорогой воспринимаются шинами. К числу основных причин, сокращающих срок службы шин и зависящих непосредственно от шофера, относятся резкое трогание с места, резкое торможение, большая скорость движения и резкие повороты, неосторожные наезды на препятствия. Резкое трогание с места приводит к сильному износу шин, особенно в случае буксования колеса.

Одной из основных причин неравномерного и быстрого износа протектора является резкое торможение автомобиля. При резком торможении обычно протектор истирается пятнами. Кроме сильного износа протектора, возникают также большие напряжения сдвига в брекере и каркасе, приводящие иногда к отслоению протектора или расслоению каркаса. При резком торможении на большой скорости может иметь место проворачивание шины на ободе, отрыв вентиля и разрушение бортов.

При повышении скорости движения возрастает удельный (на единицу пробега) износ протектора, что объясняется увеличением на больших скоростях проскальзывания его элементов в контакте шины с дорогой. Вместе с тем при езде на повышенной скорости при повороте автомобиля создаются большие боковые инерционные силы, вызывающие интенсивное проскальзывание элементов протектора и его ускоренный износ. Как видно из графика (см. рис. 266, стр. 339), при увеличении скорости в 2 раза (с 50 до 100 км/ч) амортизационный пробег шин снижается примерно в 3 раза.

Неосторожный наезд на препятствие даже на небольшой скорости может привести к разрыву каркаса, так как при этом возникает весьма значительная концентрация напряжений в нитях корда.

Исправность автомобиля

В практике нередко случаи повреждений или быстрого износа автомобильных шин вследствие неисправности механизмов автомобиля.

Наиболее частой такой неисправностью является неправильная установка передних колес. Неправильное схождение и развал колес вызывают дополнительное проскальзывание элементов протектора шин передних колес в месте контакта шины с дорогой и усиленный износ шины.

При отклонении от нормы угла развала передних колес происходит односторонний повышенный износ протектора (рис. 271), а при нарушении нормального схождения — пятнистый износ. Причиной одностороннего износа при неправильном развале колес является сосредоточение наибольших контактных давлений в крайней зоне протектора. Пятнистый износ при отклонении величины схождения от нормы является следствием того, что направление качения колеса не совпадает в этом случае с направлением движения автомобиля. В связи с этим элементы протектора проскальзывают по дороге, но благодаря эластичности шины это боковое проскальзывание чередуется с периодами качения шины без проскальзывания.

Довольно частыми причинами ускоренного пятнистого износа протектора является изношенность или неотрегулированность подшипников передних колес, недостаточно жесткое крепление колес к ступицам, изношенность или неотрегулированность соединений рулевых тяг. Все эти причины вызывают биение колес и периодические отклонения направления качения колес от направления движения автомобиля.

К быстрому местному износу протектора приводит большая выработка тормозного барабана автомобиля. Возникающая при этом обычно эллипсность барабана вызывает неравномерное тор-

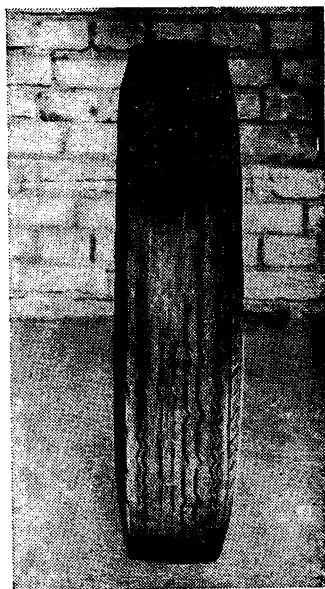


Рис. 271. Односторонний износ шины вследствие неправильного развала передних колес.

можение колеса, вследствие чего протектор истирается интенсивно в отдельных участках окружности.

Перегрев тормозных барабанов при затянутых тормозах вызывает дополнительный нагрев шин и вследствие этого ускоренный их износ. В случае неправильной регулировки тормозов или неисправностей их привода может происходить слишком резкое затормаживание, вызывающее юз колес. При этом износ протектора шины значительно возрастает.

Следует отметить, что максимальная сила торможения возникает не при полном скольжении (юз) колес, а при качении их с некоторым проскальзыванием. По опытным данным, максимальная сила торможения шин по асфальтобетону получается при 20÷25% проскальзывания колеса.

Перестановка колес

По многочисленным данным известно, что шины ведущих колес изнашиваются больше, чем шины колес (обычно передних), не нагруженных тяговым усилием. Кроме того, характер износа передних и задних колес, правых и левых колес автомобиля различен, так как они работают в разных условиях.

В связи с этим в целях равномерного износа шин и увеличения амортизационного пробега производится периодическое изменение положения шин на автомобиле, что достигается перестановкой колес.

Существуют различные схемы перестановки колес с изменением порядка перестановки, с включением в кругооборот запасного колеса и без него.

При построении этих схем учитывается целесообразность завершения цикла перестановок за предполагаемый амортизационный пробег шин и выполнения этих работ при техническом обслуживании всего автомобиля.

При ориентации на существующие нормы амортизационного пробега шин и периодичности технических обслуживаний автомобиля рационально перестановку шин производить при выполнении технического обслуживания № 2 (ТО-2) автомобиля, т. е. через каждые 6—8 тыс. км.

Ремонт шин

Ремонт шин весьма распространен, что объясняется большой стоимостью их, а также возможностью с помощью несложного ремонта значительно удлинить срок службы шины.

В качестве ремонтных материалов применяют различные сырые и вулканизированные резиновые и резино-тканевые материалы, как правило, соответствующие материалу поврежденного места: протекторную резину, обрешиненный корд, прорезиненный чефер и др.

Различают путевой и стационарный ремонт.

Путевой ремонт ограничен условиями и поэтому обычно носит временный характер.

Ремонт проколов камер в пути производится «холодным» и «горячим» способами. Наиболее быстрый и простой «холодный» ремонт. Этот ремонт является временным и заключается в наклеивке заплат невулканизирующимся клеем. Более надежна привулканизация заплат с помощью различных приспособлений: электроманжет, горючих брикетов и др.

В случаях больших повреждений покрышек в пути, при отсутствии запасного колеса производится временный ремонт, за-

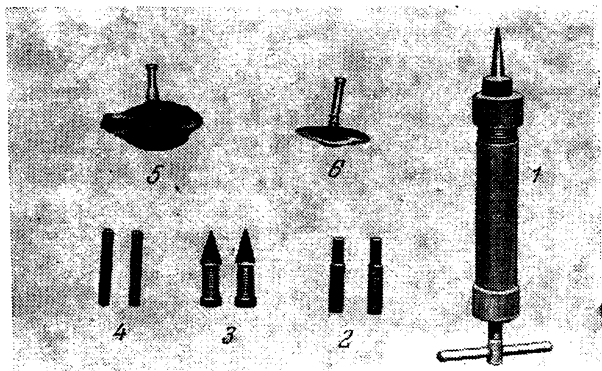


Рис. 272. Средства ремонта проколов бескамерных шин:
1—шприц для введения пасты; 2, 3, 4—пробки; 5, 6—грибки.

ключающийся в приклейке невулканизирующимся резиновым клеем пластырей или манжет из прорезиненного корда к месту повреждения с внутренней стороны покрышки.

Бескамерные шины в путевых условиях при проколах ремонтируются без демонтажа с помощью специальной самовулканизирующейся пасты, вводимой шприцем (при проколах до 2 мм) в место прокола, или резиновыми пробками при больших проколах (рис. 272). Цилиндрические пробки (сплошные или с несквозной полостью) вводятся в прокол со стороны протектора, приклеиваются самовулканизирующимся клеем. Такой ремонт производится без демонтажа шины и занимает мало времени.

Более надежным является ремонт проколов пробками-грибками, но в этом случае необходим демонтаж шины, так как грибки вводятся изнутри ее.

Значительные повреждения бескамерных шин в пути не устраняются; при отсутствии запасного колеса бескамерная шина ремонтируется пластырем или манжетой и используется с камерой.

Технологический процесс стационарного ремонта покрышек рассмотрен в специальной литературе.

Учет работы шин

Учет, систематический контроль за работой шин и материальная заинтересованность водителей оказывают прямое влияние на долговечность шин.

Благодаря точному учету и контролю своевременно выясняются дефекты шин и последние направляются в ремонт, производится перестановка шин, обеспечивается правильное комплектование шин.

Премирование за перевыполнение норм амортизационного пробега шин способствует лучшему уходу за ними и правильному и осторожному вождению автомобиля.

Учет пробега шин ведется по каждому автомобилю и по каждой покрышке в отдельности. В карточках фиксируются пробег, даты монтажа и демонтажа, ремонт, местонахождение шины. Кроме того, ведется общий журнал учета всех шин автохозяйства.

1. G. Genin, B. Morrison, Encyclopedie Technologique de l'industrie du Caoutchouc, Paris, 1956.
2. A. Mages, Konstrukce pneumatic, Praha, 1958.
3. E. Woods, Pneumatic Tyre Design, Cambridge, 1952.
4. С. Л. Левин, С. М. Цукерберг, Автомобильные бескамерные шины, изд. 2, Автотрансиздат, 1958.
5. С. Л. Левин, С. М. Цукерберг, Некоторые вопросы разработки бескамерных шин, Каучук и резина, № 11, 9 (1957).
6. С. М. Цукерберг, К расчету бескамерных шин, Каучук и резина, № 9 20 (1958).
7. В. Л. Бидерман, А. П. Богаевский, В. Ф. Шавелева, Шины из металлокорда, Каучук и резина, № 4, 19 (1957).
- 8) А. П. Богаевский, Л. В. Десидлей, И. П. Багрецова, Шины с меридиональным расположением нитей корда в каркасе, Каучук и резина, № 1, 6 (1960).
9. И. Ф. Любашевский, Л. Т. Маргулис, Б. Я. Ниселовский, Технология шинного производства, Госхимиздат, 1951.
10. В. В. Рагулин, Производство пневматических шин, Госхимиздат, 1958.
11. А. В. Салтыков, Основы современной технологии автомобильных шин, изд. 2, Госхимиздат, 1950.
12. М. Ю. Добротина, Расчет спецификации покрышки, Каучук и резина, № 7, 23 (1938).
13. В. Л. Бидерман, Расчет формы профиля и напряжений в элементах пневматической шины, нагруженной внутренним давлением, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 16.
14. С. Д. Пономарев, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев, В. М. Макушин, Н. Н. Малинин, В. И. Феодосьев, Расчеты на прочность в машиностроении, т. I, II, III, Машгиз, 1958—1959.
15. П. И. Алексеев, Нагружение бортовых колец шины в различных условиях деформации, Каучук и резина, № 2, 18 (1960).
16. В. Л. Бидерман, Уравнения деформации резино-кордных оболочек вращения, «Расчеты на прочность в машиностроении», № 89, Машгиз, 1959, стр. 119.
17. В. Л. Бидерман, Б. Л. Бухин, Энергетический метод расчета резино-кордных оболочек вращения, Изв. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, № 6, 76 (1959).
18. В. Л. Бидерман, Б. Л. Бухин, Равновесие резино-кордной цилиндрической оболочки, Изв. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, № 6, 156 (1960).
19. С. П. Захаров, В. И. Новопольский, Распределение удельного давления шины на дорогу при высоких скоростях, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 139.
20. В. А. Пугин, Электрические тензометры для измерения больших деформаций, Каучук и резина, № 1, 24 (1960).
21. В. Л. Бидерман, В. А. Пугин, Экспериментальное исследование деформаций в автомобильных шинах, Сб. «Расчеты на прочность», № 6, Машгиз, 1960, стр. 295.

22. В. И. Новопольский, Измерение потерь на качение, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 122.
 23. В. И. Кнороз, Работа автомобильных шин, Автотрансиздат, 1957.
 24. Г. В. Зимелев, Теория автомобиля, изд. 2-е. Военное изд. Мин. обороны, 1957.
 25. Б. С. Фалькевич, Н. В. Диваков, Испытания автомобиля, Машгиз, 1952.
 26. Н. А. Яковлев, Теория и расчет автомобиля, Машгиз, 1949.
 27. Б. Л. Бухин, Расчет напряжений и деформаций в пневматических шинах при их вращении, Сб. «Расчеты на прочность», № 6, Машгиз, 1960, стр. 56.
 28. В. Л. Бидерман, Критическая скорость качения пневматической шины, Сборник «Расчеты на прочность», № 7, Машгиз, 1961, стр. 324.
 29. В. Л. Бидерман, К расчету критической скорости качения пневматической шины, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 64.
 30. В. Л. Бидерман, Б. Л. Бухин, Расчет критической скорости качения пневматической шины, Изв. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, № 1, 52 (1961).
 31. В. Л. Бидерман, Расчет норм нагрузок и давлений для автомобильных шин, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 52.
 32. В. Л. Бидерман, Расчет деформаций в камерах пневматических шин, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 76.
 33. В. Ф. Евстратов, Т. Н. Буйко, Л. В. Десидлей, Автомобильные грузовые шины из синтетического каучука и пути повышения их качества, Хим. наука и пром., № 1, 15 (1959).
 34. Л. Д. Слюдиков, Профиль меридионального сечения шины типа «Р» Каучук и резина, № 8, 27 (1962).
 35. В. Л. Бидерман, Шины с меридиональным расположением нитей корда в каркасе, Каучук и резина, № 7, 10 (1960).
 36. Л. Д. Слюдиков, В. Л. Бидерман, Новый метод сборки автопокрышек, Каучук и резина, № 8, 45 (1960).
 37. С. М. Цукерберг, С. П. Захаров, Б. В. Ненахов, Э. Е. Абрамова, Шины для автомобилей повышенной проходимости, Госхимиздат, 1960.
 38. С. М. Цукерберг, Б. В. Ненахов, Шины с регулируемым давлением воздуха, Автомобильный транспорт, № 10, 47 (1959).
 39. С. П. Захаров, С. М. Цукерберг, Б. В. Ненахов, Широкопрофильные шины, Каучук и резина, № 8, 20 (1959).
 40. В. И. Новопольский, В. Ф. Евстратов, С. Л. Левин, Комплексная методика лабораторных испытаний автомобильных шин, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 106.
 41. С. М. Цукерберг, Сцепление шины с дорогой, Труды Всесоюзного заочного политехнического института, 1961.
 42. Р. Л. Гуслицер, Методы оценки прочности каркаса автомобильных шин, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 169.
 43. Н. Л. Сахновский, В. Ф. Евстратов, Л. А. Смирнова, В. И. Катков, Оценка износостойкости протекторных резин при эксплуатационных испытаниях шин, Каучук и резина, № 1, 10 (1960).
 44. В. Л. Бидерман, Новый метод обработки результатов незаконченных эксплуатационных испытаний шин, Труды НИИ шинной промышленности, Сборник 3, Госхимиздат, 1957, стр. 190.
 45. И. И. Селезнев, С. М. Цукерберг, Б. В. Ненахов, Пути увеличения пробега автомобильных шин, Автотрансиздат, 1960.
-

ПРИЛОЖЕНИЯ

НОМОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНФИГУРАЦИЙ ШИН

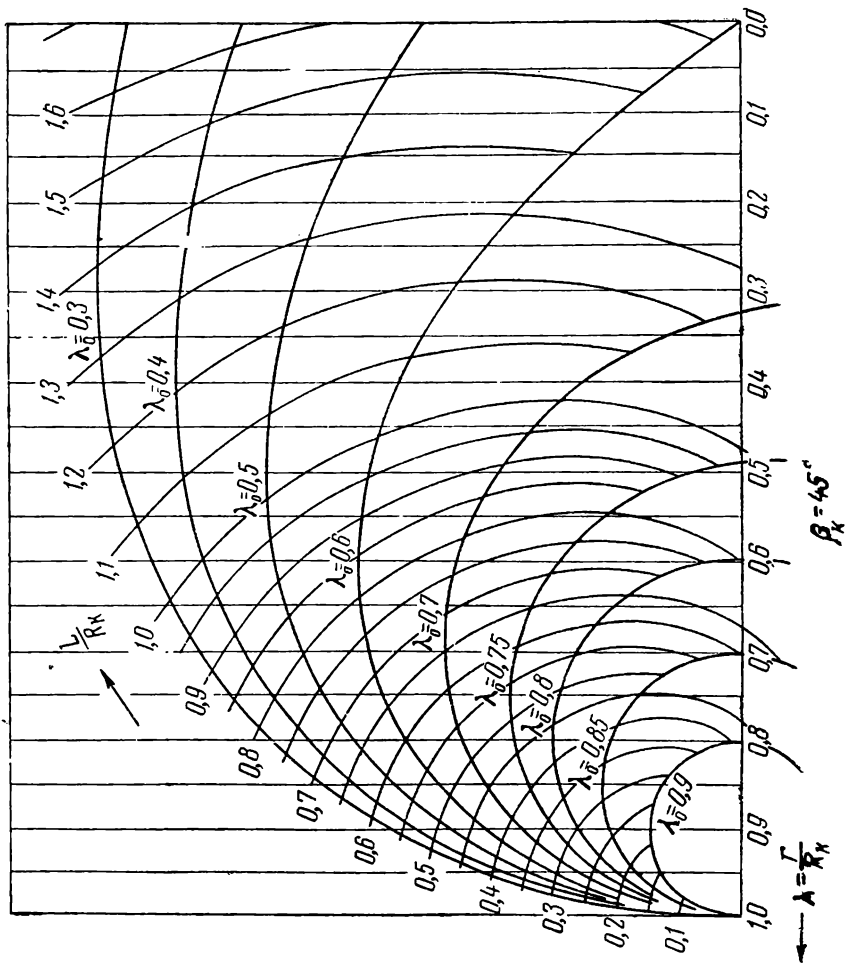
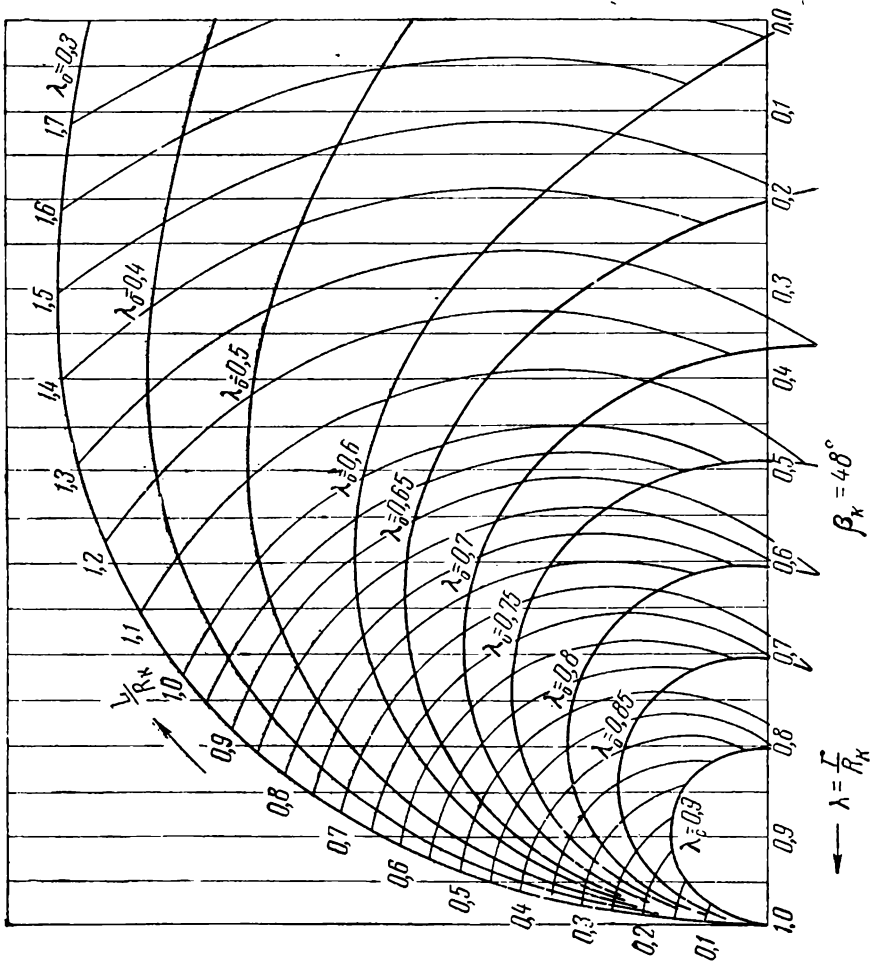


Рис. 1. Равновесные конфигурации шин при $\beta_K = 45^\circ$.

Рис. 2. Равновесные конфигурации шин при $\beta_K = 48^\circ$.



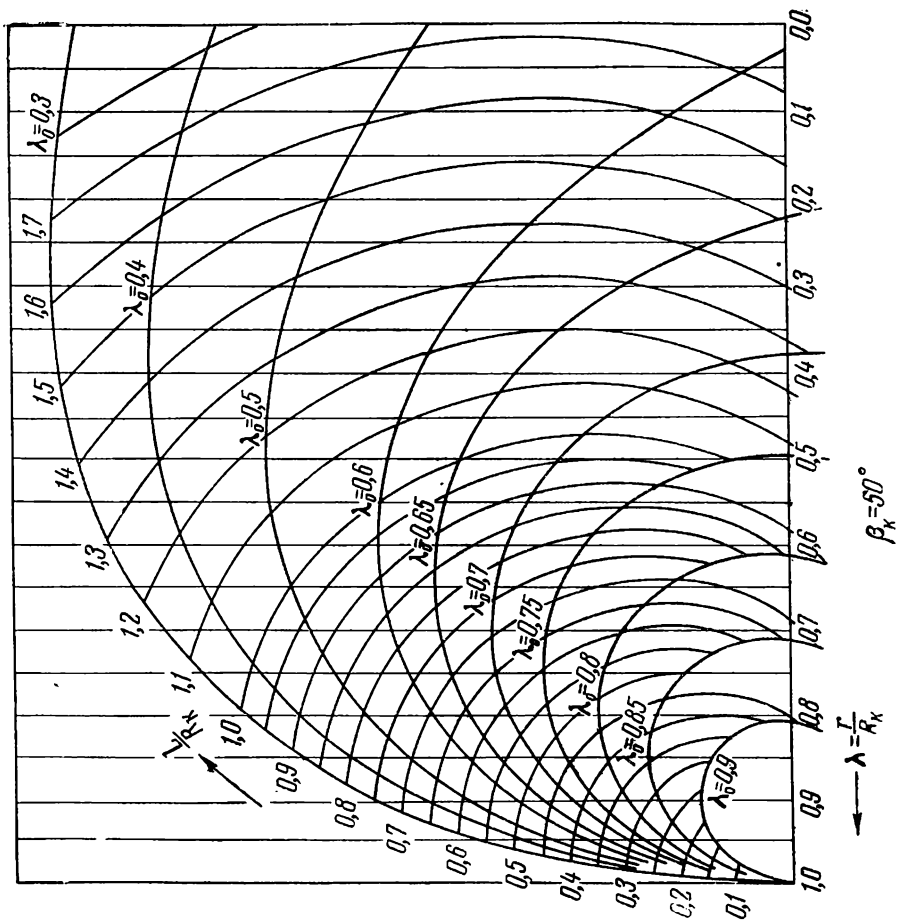


Рис. 3. Равновесные конфигурации шин при $\beta_K = 50^\circ$.

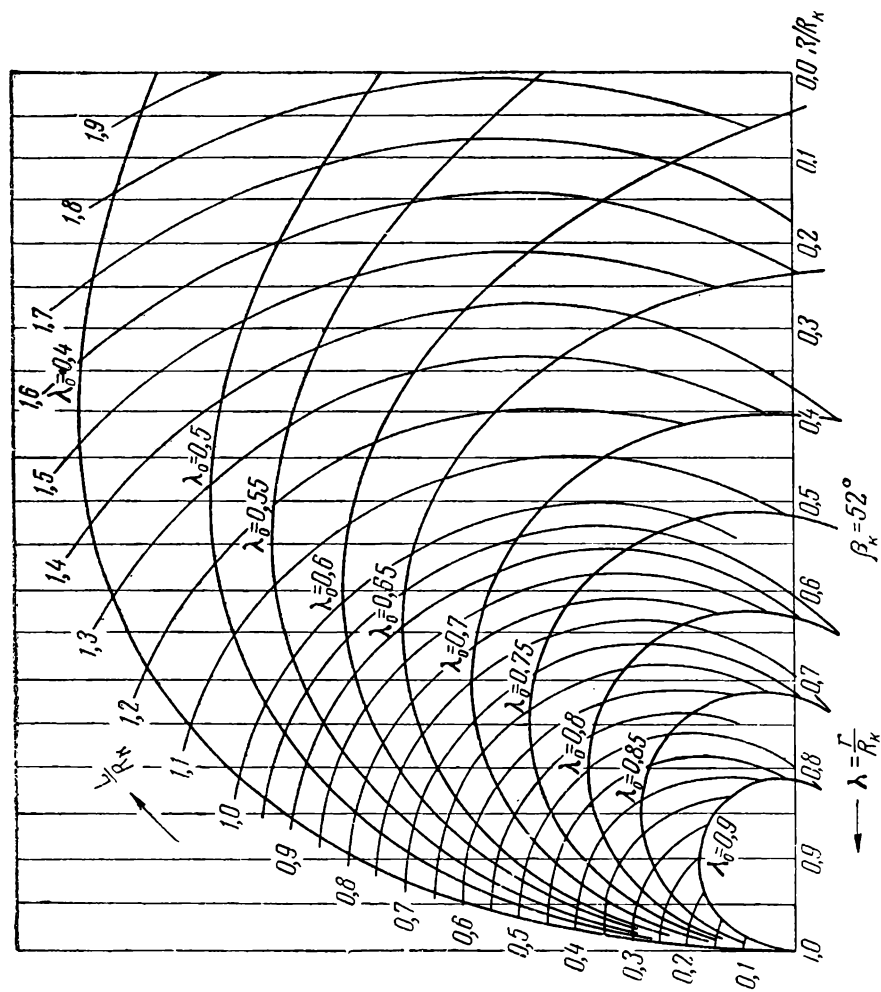


Рис. 4. Равновесные конфигурации шин при $\beta_k=52^\circ$.

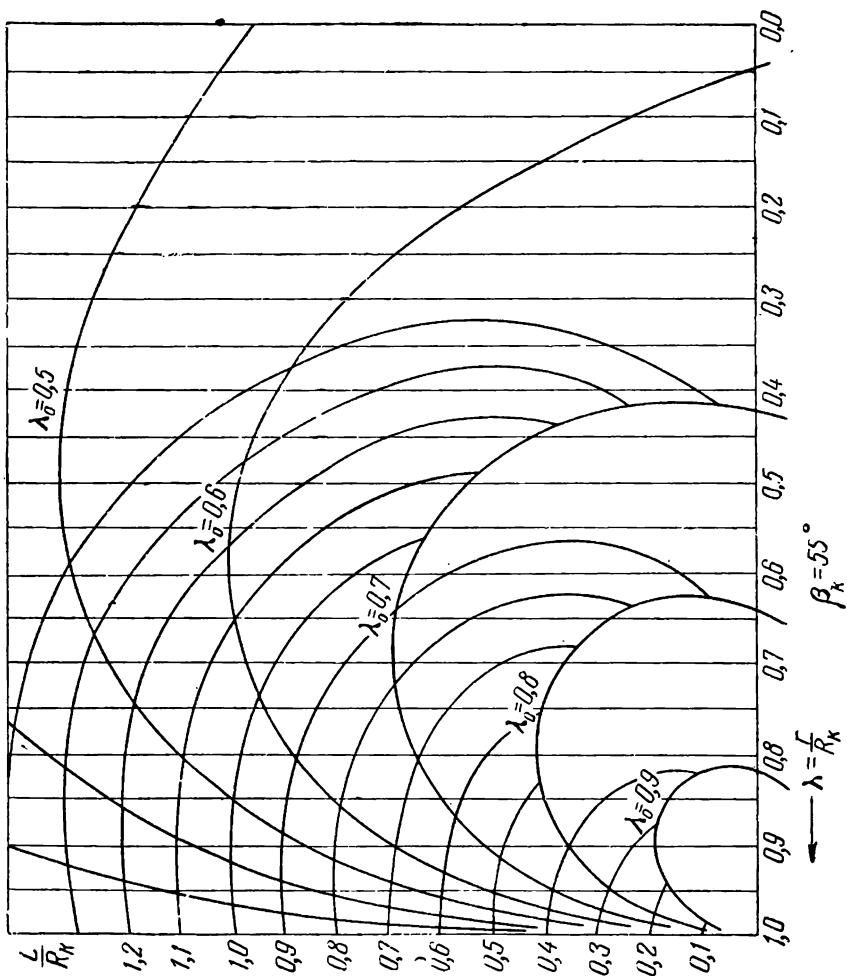


Рис. 5. Равновесные конфигурации шин при $\beta_k = 55^\circ$.

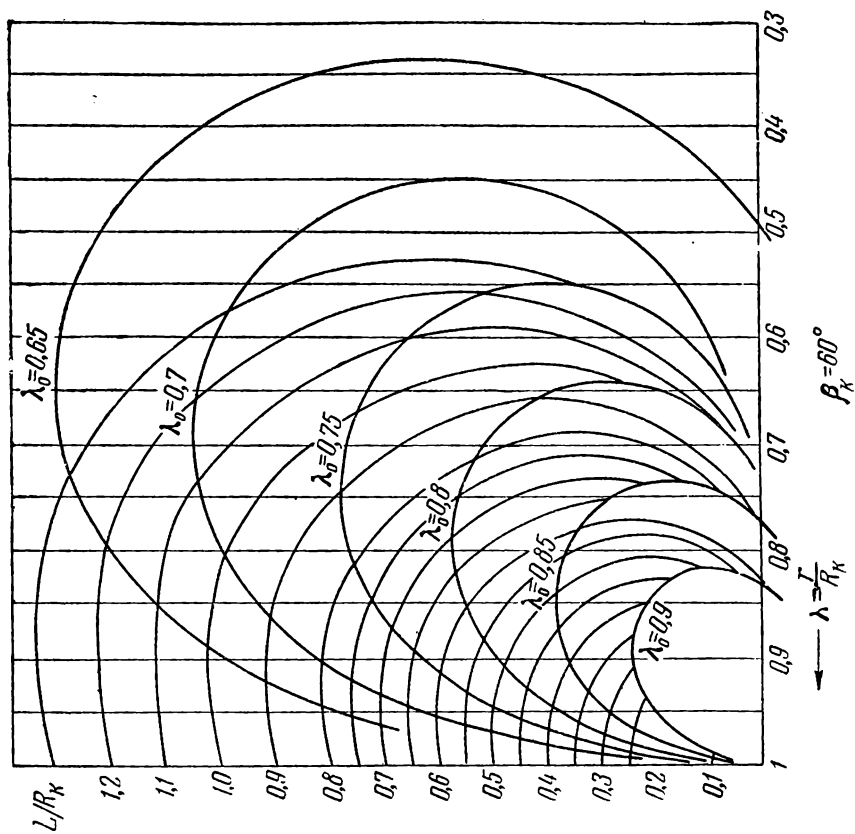


Рис. 6. Равновесные конфигурации шин при $\beta_k = 60^\circ$.

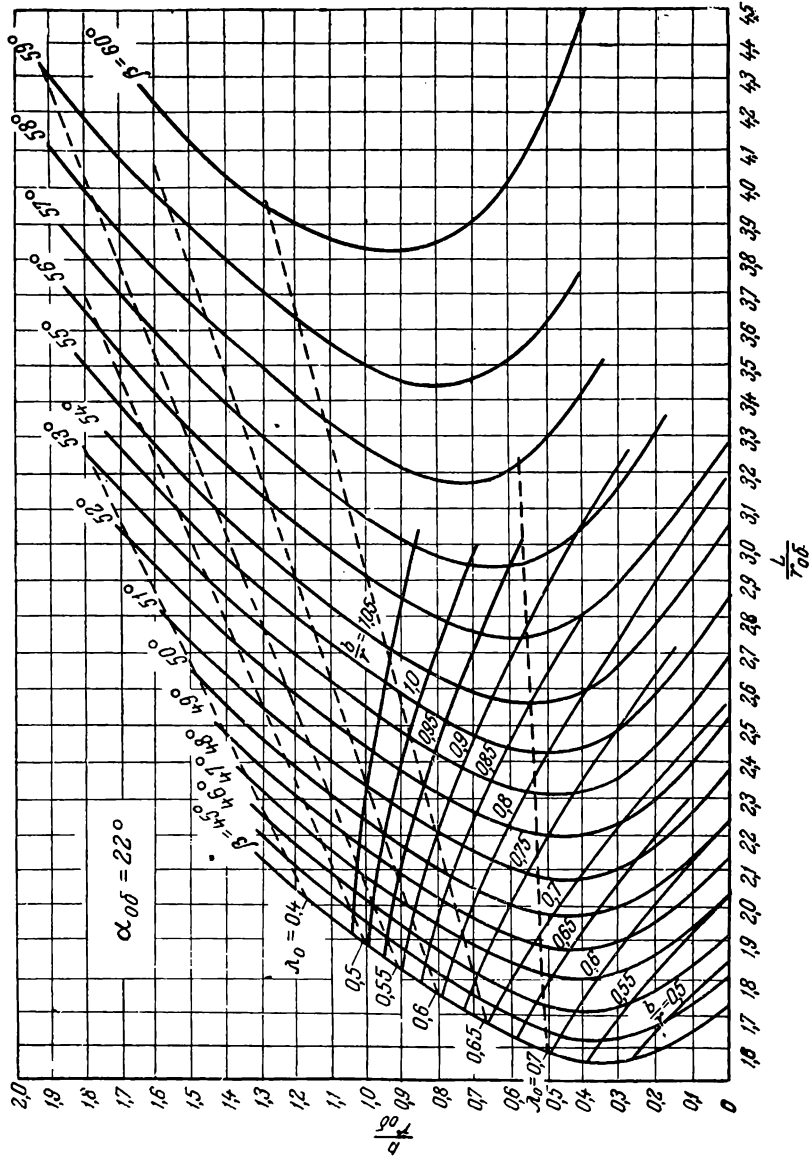


Рис. 7. Расчетная номограмма для $\alpha = 22^\circ$.

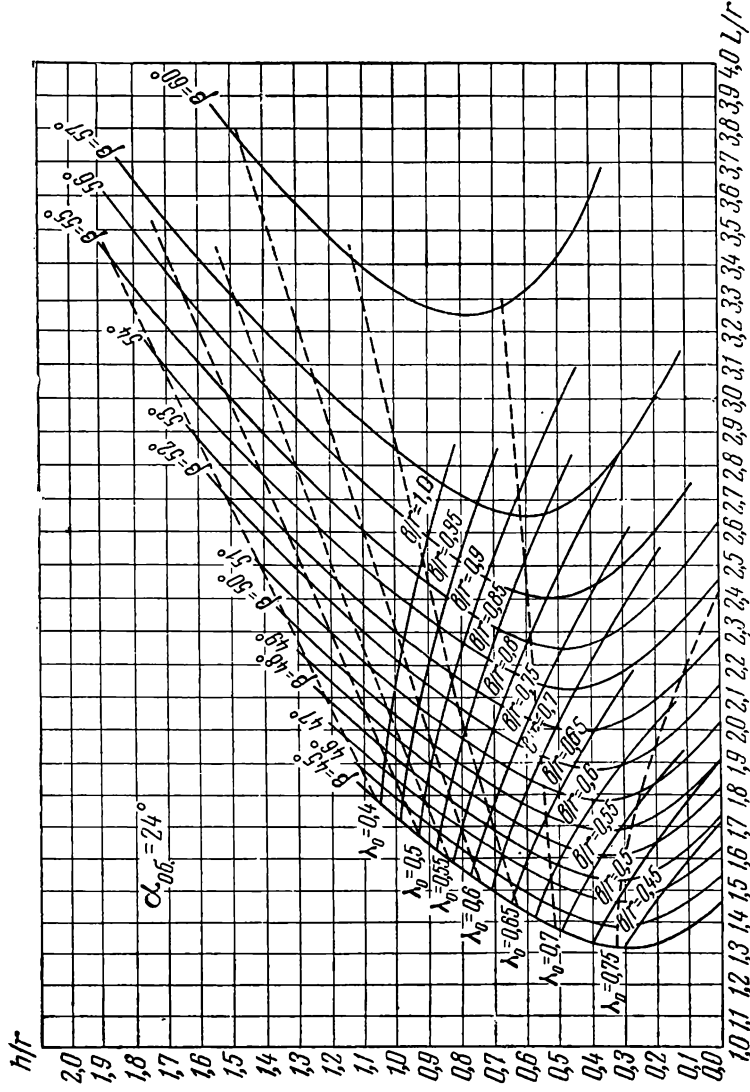


Рис. 8. Расчетная номограмма для $\alpha = 24^\circ$.

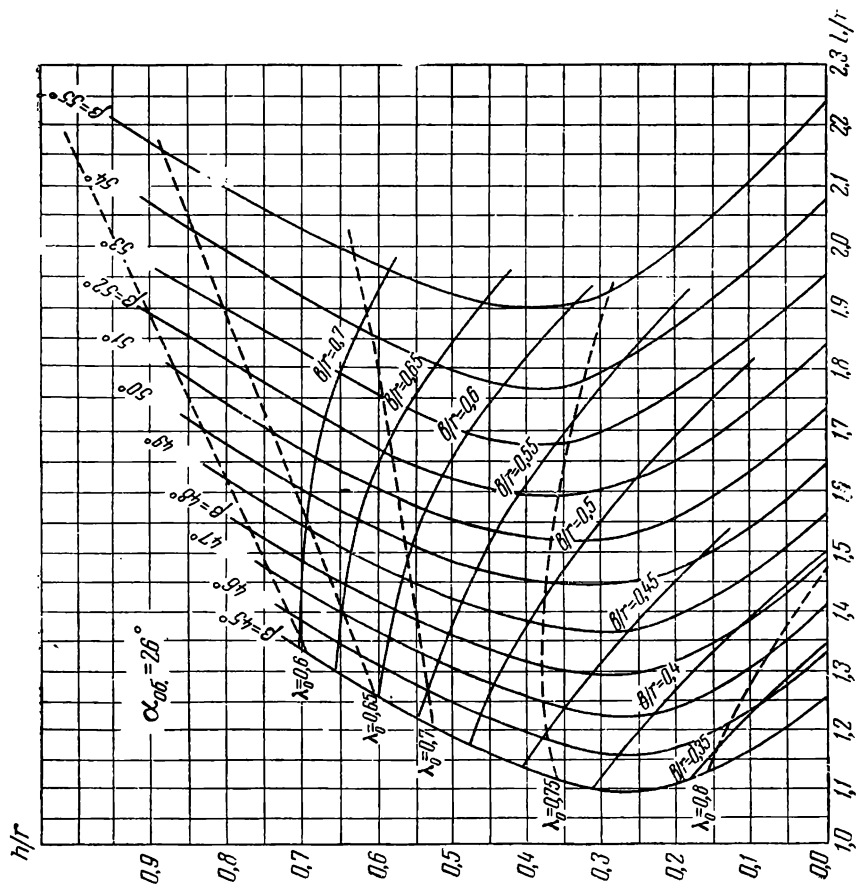


Рис. 9. Расчетная номограмма для $\alpha = 26^\circ$.

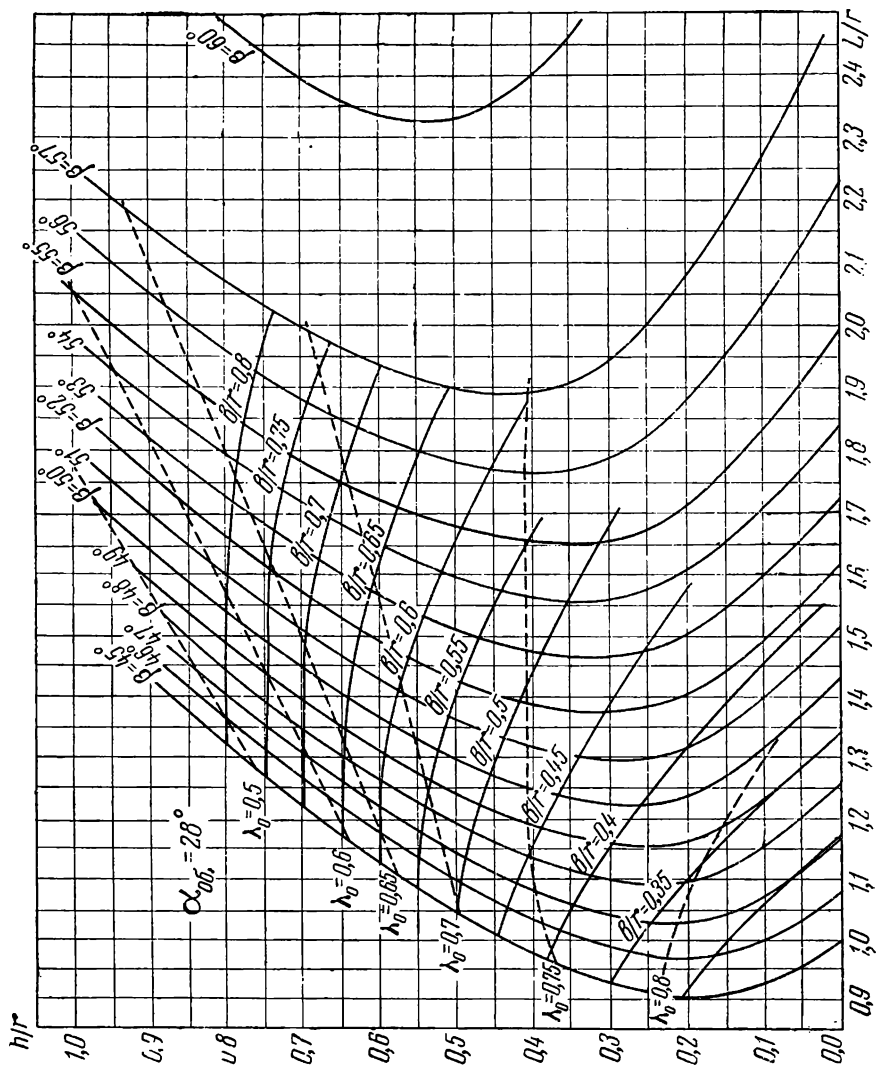


Рис. 10. Расчетная номограмма для $\alpha = 28^\circ$.

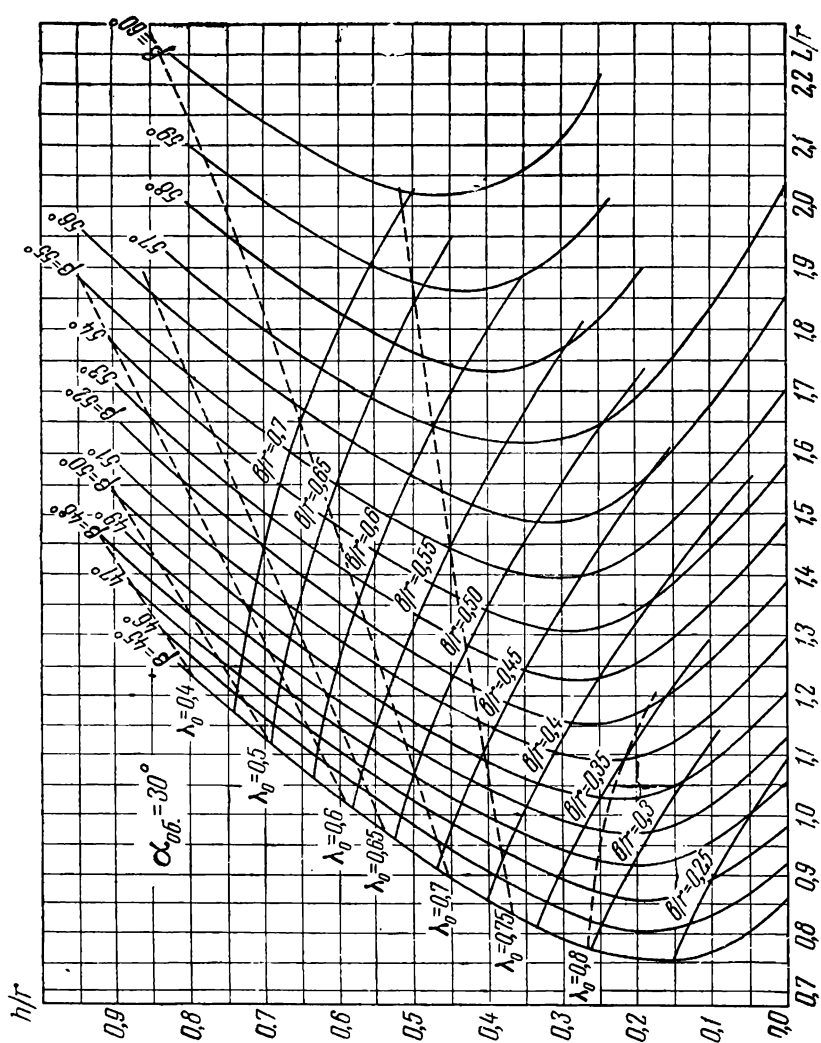


Рис. 11. Расчетная номограмма для $\alpha = 30^\circ$.

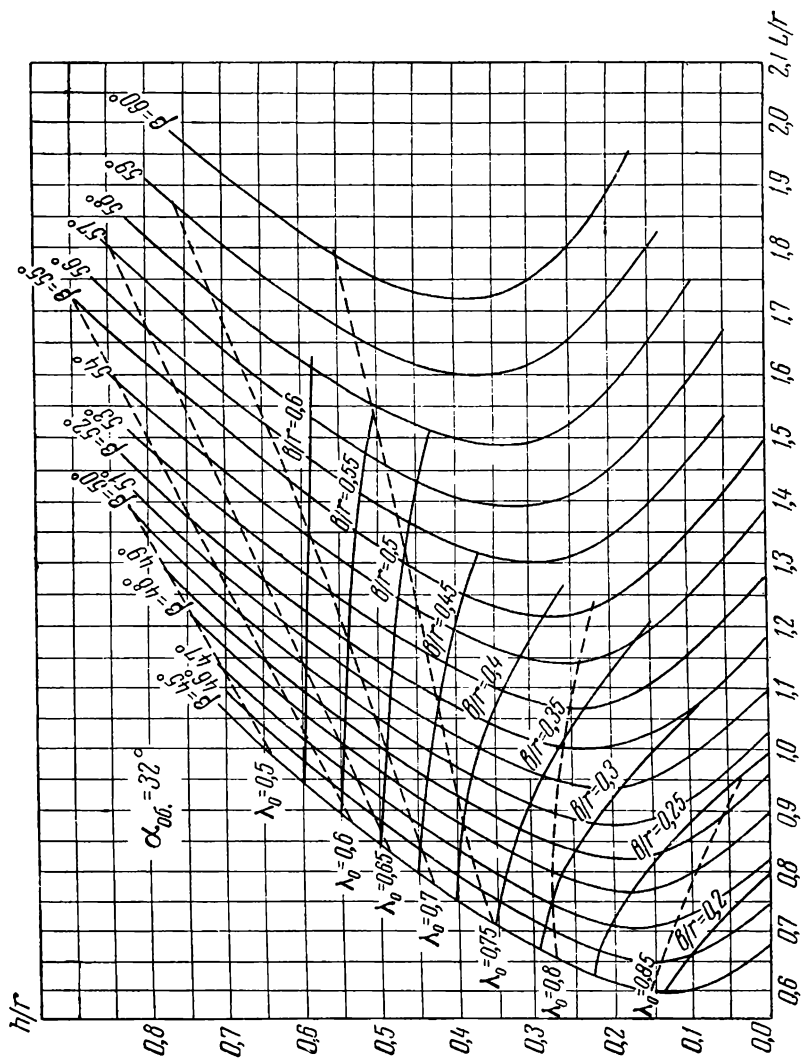


Рис. 12. Расчетная номограмма для $\alpha = 32^\circ$.

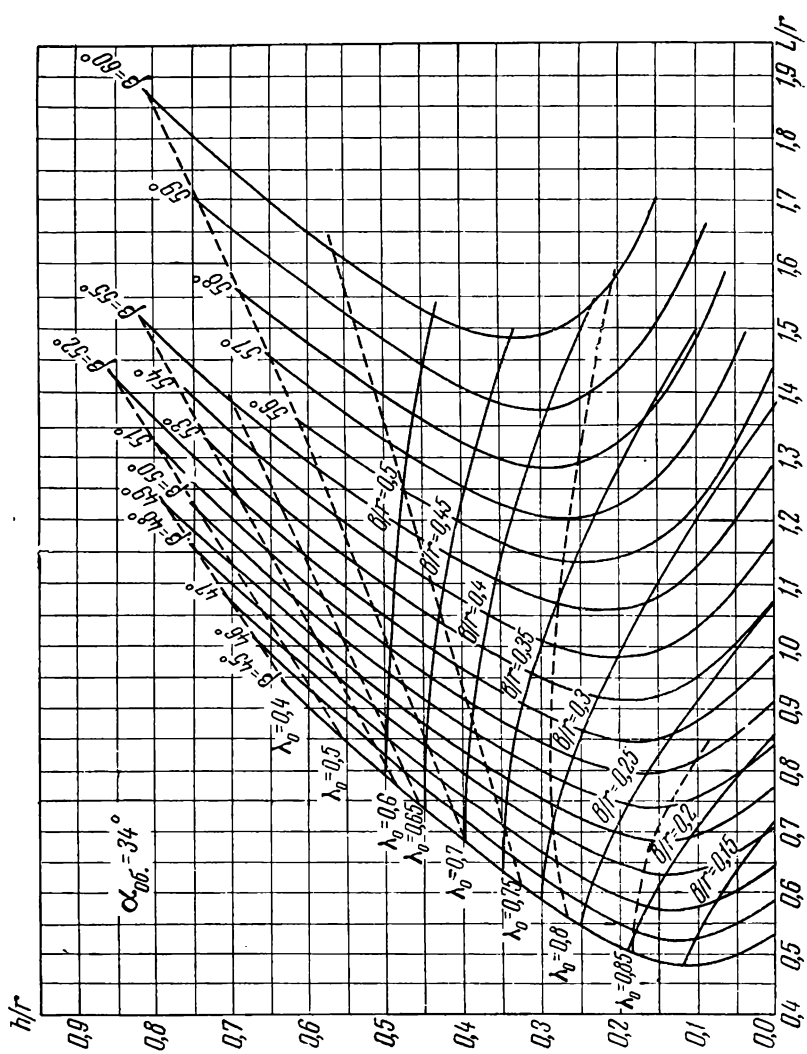


Рис. 13. Расчетная номограмма для $\alpha=34^\circ$,

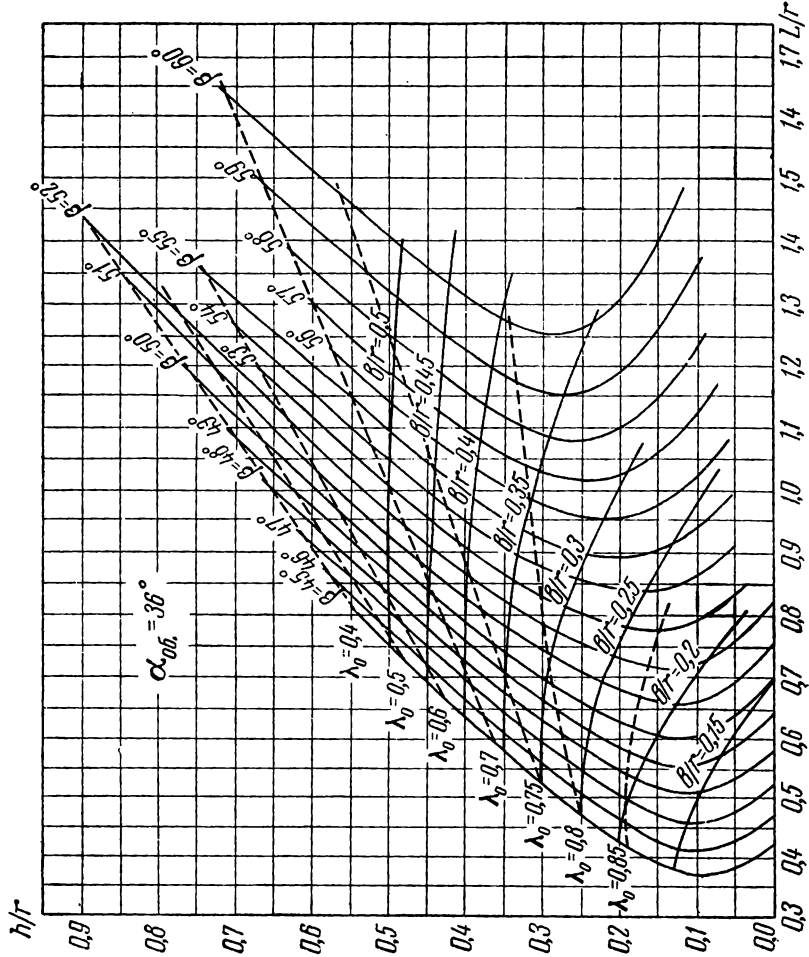


Рис. 14. Расчетная номограмма для $\alpha = 36^\circ$.

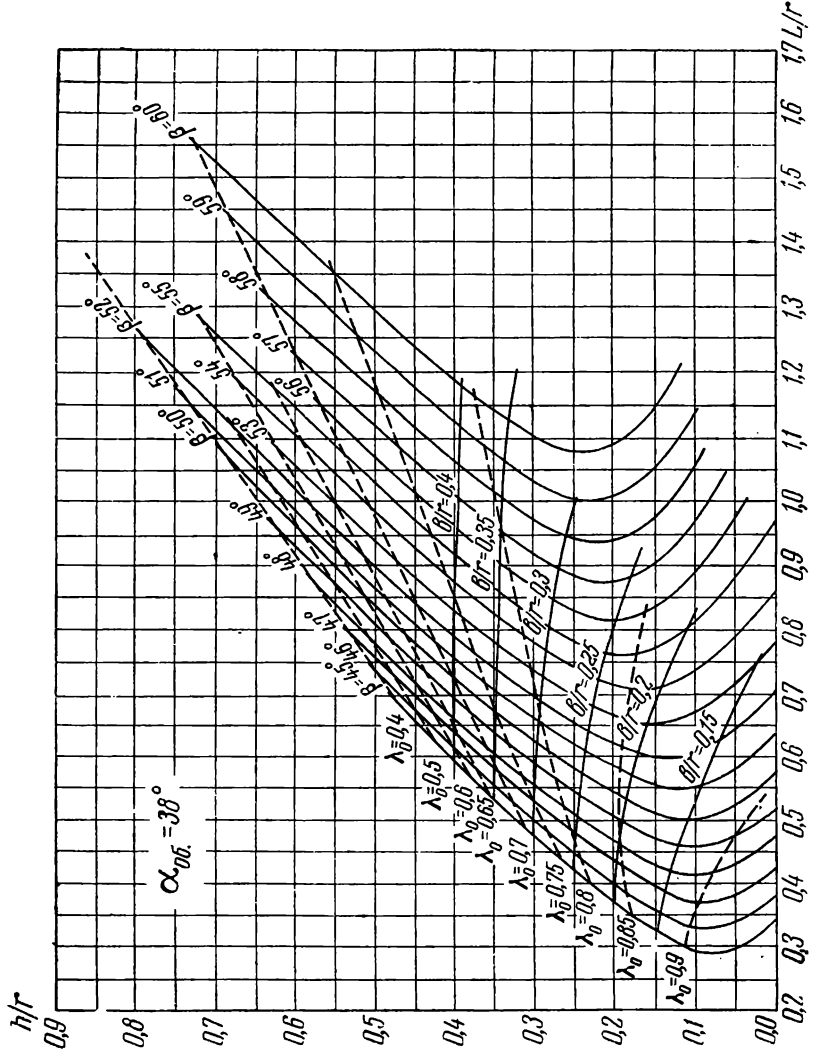


Рис. 15. Расчетная номограмма для $\alpha = 38^\circ$.

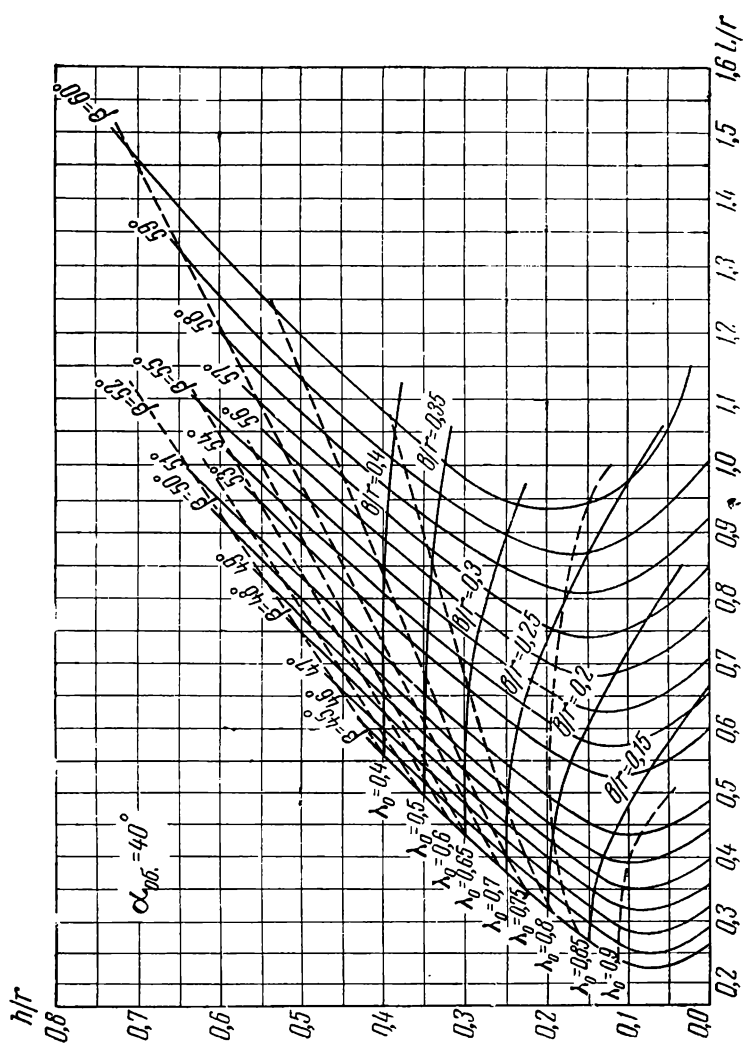


Рис. 16. Расчетная номограмма для $\alpha = 40^\circ$

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ШИНЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МАШИН

Таблица 1

Пневматические шины для грузовых автомобилей, автобусов, автоприцепов и троллейбусов

Обозначение шины	Слои каркаса	Рисунок протектора покрышек	Обозначение про-филя обода	Вес обычной шины при минимальной слоистости кгс не более	Размеры надутой шины, мм			Максимальная рекомендуемая нагрузка и соответствующее внутреннее давление		Минимальное рекомендуемое внутреннее давление и соответствующая нагрузка на шину			
					наружный диаметр	ширина профиля без нагрузки	ширина профиля под нагрузкой	статистический радиус под нагрузкой	нагрузка кгс		давление кгс/см ²	нагрузка кгс	давление кгс/см ²
6,50—20	6—8	Дорожный	3,75P	26	860	175	185	406	750	3,5	2,75	500	2,75
7,50—20	8—10	То же	5,00S	39	923	204	215	436	1000	4,0	2,75	850	2,75
7,50—20	8—10	Повышенной проходимости	5,00S	40	933	207	217	443	1000	4,0	2,75	850	2,75
200—20	8—10	Универсальный	5,00S	39	937	209	220	445	1000	4,0	2,8	850	2,8
210—20	10—12	То же	5,00S	45	960	218	229	455	1200	5,75	4,0	1000	4,0
8,25—20	10—12	Повышенной проходимости	5,00S	53	971	222	235	463	1300	4,5	2,75	1000	2,75
9,00—20	10—12	Дорожный	6,00T	56	1014	250	260	478	1550	4,5	3,25	1250	3,25
9,00—20	10—12	Повышенной проходимости	6,00T	60	1026	254	263	485	1550	4,5	3,25	1250	3,25
260—20	8—12	Универсальный	6,00T	62	1037	260	270	490	1550	4,5	3,25	1250	3,25
9,75—18	12—14	Повышенной проходимости	6,00T	65	996	253	264	467	—	—	—	—	—
10,00—18	12—14	То же	6,00T	67	1018	260	272	481	1700	5,0	3,5	1400	3,5
10,00—18	12—14	Универсальный	6,00T	67	1010	260	272	480	1700	5,0	3,5	1400	3,5
10,00—20	12—14	Дорожный	7,33V	72,5	1056	280	290	500	1000	5,0	3,5	1500	3,5
11,00—20	12—14	То же	7,33V	73,5	1082	285	296	507	2050	5,0	4,25	2100	4,25
320—20	14—16	»	8,37V	83	1125	319	331	525	2450	5,25	4,3	2050	4,3
12,00—20	14—16	»	8,37V	90	1123	313	324	529	2400	5,5	4,25	2100	4,25
12,00—20	14—16	Повышенной проходимости	8,37V	95	1130	323	338	535	2400	5,5	4,25	2100	4,25

Примечания.

1. Геометрические размеры шин даны при монтаже их на узкие обода.
2. Шины 9,75—8; 9,00—20 и 6,50—20 не рекомендуются для новых моделей автомобилей.
3. Камеры и ободные ленты комплектуются с покрышками, монтируемыми на стандартные обода; в случае монтажа шин на уширенные обода покрышки комплектуются с камерами и ободными лентами по отдельным техническим условиям.

Пневматические шины для легковых автомобилей

Обозначение шины	Слойность каркаса	Рисунок протектора покрышек	Обозначение профиля обода	Вес обычной шины при минимальной слоистости ксз, не более		Размеры гадутной шины, мм				Максимальная рекомендуемая нагрузка и соответствующее давление		Минимальное рекомендуемое внутреннее давление и соответствующая нагрузка	
				камерной	бескамерной	наруж. диаметр	внутр. диаметр обода	ширина профиля без нагрузки, мм	статистический радиус под нагрузкой, мм	нагрузка, ксз	давление, ксз/см ²	нагрузка, ксз	давление, ксз/см ²
5,20—13	4	Дорожный	4J	—	8,5	595	329,4	136	282	275	1,7	1,4	235
5,60—13	4	Повышенной проходимости	4J	—	10,5	613	329,4	138	294	225	1,4	1,2	200
5,60—15	4	Дорожный	41/2K	10,0	9,5	670	380,2	150	312	330	1,7	1,4	290
6,40—15	4—6	Повышенной проходимости	41/2K	13,5	13,5	698	380,2	160	331	360	1,7	1,4	340
6,70—15	4—6	Дорожный	5K	13,5	13,5	718	380,2	175	335	505	1,8	1,4	435
7,00—15	6	То же	6L	18,7	—	745	380,2	196	352	605	2,5	1,4	425
8,20—15	4—6	»	6L	—	16	760	380,2	205	355	700	2,0	1,4	575
8,40—15	4—6	Универсальный	6L	—	19	775	380,2	215	360	750	2,0	1,4	600
8,90—15	6	Дорожный	61/2L	—	22	796	380,2	226	370	820	2,0	1,4	665
5,00—16	4	То же	3,00D	10,6	—	670	405,6	130	312	320	2,1	1,5	255
6,00—16	4—6	»	4,00E	14,7	13,5	728	405,6	160	343	460	2,2	1,5	340
6,50—16	6—8	Повышенной проходимости	4,50E	21,0	—	762	405,6	172	357	550	2,5	1,5	390
7,00—16	4	Дорожный	4,50E	18,0	—	760	405,6	182	354	520	1,75	1,5	445
7,50—16	6	То же	5,00F	25,0	—	795	405,6	200	375	785	2,5	1,5	500

Примечание. Шины 5,00—16; 6,00—16; 6,50—16; 7,00—16 и 7,50—16 не рекомендуются для новых моделей автомобилей. При применении шин, указанных в таблице, на грузовых автомобилях малой грузоподъемности внутреннее давление в шинах должно быть повышено для четырех-слойных шин на 0,35 ксз/см² и для шестислойных шин на 0,45 ксз/см² без увеличения нагрузки на шину

Шины с регулируемым давлением

Обозначение шины	Слойность каркаса	Рисунок протектора покрышек	Вес шины кгс	Обозначение профиля обода	Размеры надутой шины, мм				Максимальная рекомендуемая нагрузка и соответствующее внутреннее давление		Минимальное рекомендуемое внутреннее давление (для кратковременной работы) и соответствующая нагрузка на шину		Глубина рисунка (по центру беговой дорожки) мм	Толщина протектора (по центру беговой дорожки) мм	Насыщенность резины, %
					наружный диаметр	ширина профиля без нагрузки	ширина профиля под нагрузкой	статический радиус под максимальной нагрузкой	давление на грузе кгс/см ²	нагрузка кгс	давление кгс/см ²	нагрузка кгс			
9,00—16	4	Повышенной проходимости	32	6,50CS	886	244	245	410	700	2,5	0,5	700	15	20	48,6
11,00—16	8	То же	—	8,00CV	962	283	—	442	1000	1,8	0,7	1000	25	32	—
11,00—18	10	»	62	8,00CV	1045	305	315	485	1650	3,5	0,7	1650	15	20	42,5
12,00—18	8	»	72	9,0	1090	327	340	507	1580	3,0	0,5	1580	15	21	40,5
12,00—20	8	»	70	9,0	1145	305	—	—	1702	3,0	0,5	1702	25	34	39,7
13,00—18	8	»	78	9,0	1144	350	368	530	1580	2,5	0,5	1508	16	22,5	40
13,00—20	8	»	76,5	9,0	1190	348	379	387	1850	2,5	0,5	1850	17	24	44
14,00—18	8	»	85	10,0	1215	390	410	563	1580	2,0	0,7	1580	17	24	39,6
14,00—20	10	»	140	10,0	1272	385	392	587	2500	3,2	0,7	2500	28	35	40
16,00—20	8	»	130	11,5	1390	438	457	635	1900	2,0	0,5	1900	30	40	36,4
16,00—24	12	»	160	11,5	1457	443	483	635	3000	2,0	0,7	3000	17	24	43,6
18,00—24	10	»	250	13,0	1600	555	574	690	3500	1,5	0,7	3500	20	28	43,7
18,00—24	16	»	270	13,0	1594	503	574	717	5500	2,8	0,7	5500	20	28	43,7
18,00—25	16	»	—	13,0	1620	500	—	750,9	5500	2,8	0,7	5500	30	30	48
21,00—28	14	»	—	17,0	1744	603	—	—	6500	2,5	0,8	6500	18	27	44

Алочные шины

Обозначение шины	Слойность каркаса	Рисунок протектора покрытия	Вес шины, кг, не бо- лее	Размеры надутой шины, мм			Максимально допустимая на- грузка на шину и давление в шине, соответствующее этой нагрузке
				наружный диаметр	ширина про- филя без на- грузки	статический радиус под нагрузкой	
600×340	4	Повышенной проходимости	17,85	615	340	273	250 0,8
760×315	4	То же	31	760	325	352	620 0,7
900×450	4	»	51	930	450	424	900 0,9
1000×600	6	»	73	1040	600	478	2000 1,4
1060×600	8	»	95	1075	600	489	2400 1,8
100×650	6	»	70	1035	650	442	2000 1,4
1140×700	8	»	114	1162	720	465	3000 1,4
1300×750	8	»	177	1298	750	572	5000 2,0
1500×840	8	»	145	1578	840	783	1600 0,5

Шины пневматические для сельскохозяйственных машин

Обозначение шины	Слойность каркаса	Рисунок протектора покрытия	Обозначение профиля обода		Вес шины кг не более	Размеры надутой шины, мм		Максимально допустимая нагрузка на шину в шине, соответствующее этой нагрузке		Минимально допустимое давление в шине и максимальная нагрузка на шину, соответствующая этому давлению		Тип вентиля
			метрическое	дюймовое		наружный диаметр	ширина профиля без нагрузки	статистический радиус под нагрузкой	нагрузка кгс	давление кгс/см ²	нагрузка кгс	

Шины ведущих колес

Обозначение	Слойность каркаса	Рисунок протектора покрытия	Повышенной проходимости То же	102E	4,00E	15,5	710	148	337	200	1,25	0,9	155	Р
150—406	550—16	4		W178	W7	—	950	210	—	680	1,9	0,8	410	—
210—508	8—20	6		W203	W8	43	970	240	445	805	1,8	0,8	500	В
240—508	9—20	6	»	DW356	DW14	85	1158	398	518	2040	1,5	1,0	1760	В
420—508	15—20	8	»	W229	W9	78,5	1164	285	545	1425	2,3	0,85	805	ДМ-95
300—610	11—24	8	»	W229	W9	115,0	1335	365	615	2200	2,5	1,0	1290	ДМ-95
365—610	14—24	8	»	W305	W12	130,0	1345	400	600	2500	2,5	1,0	1455	ДМ-95
400—610	15—24	8	»	DW406	DW16	125,0	1380	445	635	1900	1,0	1,1	1890	В
450—610	18,4—24	8—10	»	DW508	DW20	—	1630	585	735	4500	1,7	1,1	2990	В
600—660	23,1—26	12	»	W229	W9	65	1210	267	567	845	1,1	0,8	690	В
270—711	10—28	6	»	DW305	DW12	90	1408	360	650	1550	1,3	1,0	1360	В
360—762	13—30	6	»	DW356	DW14	116	1523	426	685	2420	1,4	1,1	2100	В
420—762	15—30	6	»	W178	W7	37,5	1166	200	542	680	1,2	0,8	535	В
210—813	8—32	4	»											

Шины пневматические для сельскохозяйственных машин

Обозначение шины	Слойность каркаса	Рисунок протектора покрышек	Обозначение профиля обода		Вес шины кг не более	Размеры надутой шины, мм			Максимально допустимая нагрузка в шине и давление в этой нагрузке кгс	Минимально допустимое давление в шине и максимальная нагрузка на шину, соответствующая этому давлению кгс	Тип вентиля		
			метрическое	дюймовое		наружный диаметр	ширина профиля без надувания	статический радиус				нагрузка	давление
300—965 11—38	6	»	DW254	DW10	90	1522	305	710	1410	1,5	0,8	975	B
330—965 12—38	6	»	DW279	DW11	98	1575	332	742	1570	1,4	0,8	1130	B
210—1016 8,25—40	6	»	152S	6,00S	61	1455	206	685	1360	2,3	1,2	1200	B
240—1067 9—42	6—8	»	DW203	DW8	68	1512	238	723	1180	2,0	0,8	695	B

Шины направляющих колес

115—406 4,00—16	4	Направляющие ребра	76D	3,00D	9,0	655	115	308	230	2,0	1,4	185	P
150—406 5,50—16	6	То же	102E	4,00E	15,5	715	150	335	420	2,5	1,4	300	P
170—406 6,00—16	6	»	102E	4,00E	16,5	746	166	347	550	2,5	1,4	390	P
180—406 6,50—16	6	»	114E	4,50E	22,5	765	180	355	900	3,5	1,4	525	P
240—403 9,00—16	6	»	152F	6,40F	36,0	887	243	395	1100	2,5	1,4	780	DM-95
190—508 6,50—20	6	»	140F	5,50F	26,0	883	186	420	660	2,7	1,4	450	P
210—508 8—20	6	»	140F	5,50F	35	920	210	430	925	2,5	1,4	680	P

Шины несущих колес

200×60	—	Без корда	Без рисунка	Специальный	—	0,7	200	60	94	25	Атмосферное	—	Без вентиля
300×100	—	То же	То же	Специальный	—	2,8	296	100	133	50	То же	—	То же
400×100	—	»	Повышенная проходимость	Специальный	—	3,0	390	100	180	60	»	—	»
130—230	4,50—9	4	Универсальный	89D	3,50D	4,2	470	129	220	245	2,8	—	P
135—254	5,0—10	4	То же	102E	4,00E	8,6	510	135	241	330	3,0	1,4	P
215—381	8,25—15	8	Дорожный	127S	5,00S	32,0	834	216	384	1350	3,5	1,4	ДМ-105
230—406	230—16	10	Продольные ребра	152F	6,00F	43	885	247	405	1450	3,4	1,4	ДМ-95
310—406	12—16	8	То же	W254H	W10H	48	935	288	—	2100	3,0	1,4	ДМ-95
980×390—406	—	8	»	W305	W12	70	980	390	433	3200	3,0	—	—
980×390—457	—	8	»	W305	W12	60	980	390	442	3200	3,0	—	—

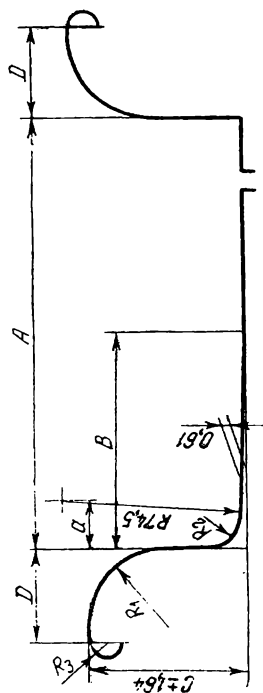
ПРОФИЛИ ОБОДОВ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН

Таблица 6

Плоские ободы для грузовых шин

Обод Размер	3,75P	4,33E	5,00S	6,00T	7,33V	8,37V	10,00W
A, мм	95,25±2,3	109,98±2,3	127,0±2,3	152,4±2,3	186,18±3,2	212,60±3,58	254,0±4,75
B, мм	31,75	36,65	42,34	50,8	62,05	70,87	70,87
C, мм	25,40	28,57	33,32	38,10	44,45	44,45	50,80
D*, мм	17,45	19,84	19,84	23,80	28,57	28,37	30,18
a, мм	15,87	15,67	15,67	17,02	17,02	17,02	17,02
R ₁ , мм	15,87	18,25	18,25	22,22	26,97	26,97	28,57
R ₂ , мм	6,35	6,35	6,35	7,94	7,94	7,94	7,94

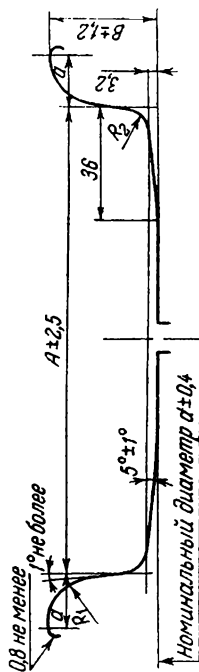
• Приведен минимально допустимый размер.



Обода с коническими полками для грузовых шин

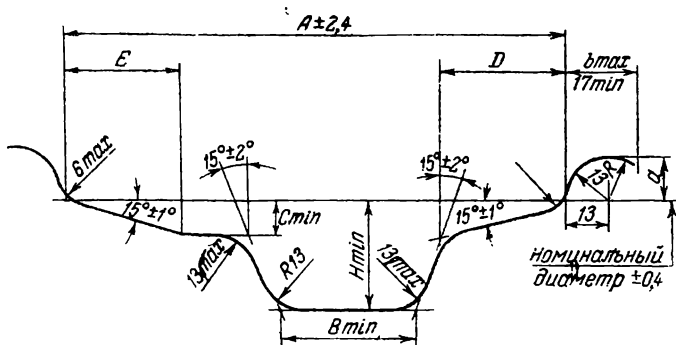
Обод Размер	5,0А	5,5А	6,0Б	6,5Б	7,0	7,5Б	8,0Б	8,5Б	9,0Г	10,0Г
<i>A</i> , мм	127	140	152	165	178	190	203	216	228	254
<i>B</i> , мм	28	28	33	33	38	43	43	43	48	48
<i>a</i> [*] , мм	16	16	18	18	21	23	23	23	26	25
<i>R</i> ₁ , мм	14	14	16,5	16,5	19	22	22	22	24	24
<i>R</i> ₂ , мм	6,5	6,5	6,5	6,5	8	8	8	8	8	8
<i>d</i> , мм	508	432; 457;	432; 457;	432; 457;	457;	457; 508;	457; 508;	457; 508;	457; 508;	508;
	381	508; 381	508	508	508	559; 610	559; 610	559; 610	610	508

* Приведен минимально допустимый размер.



Глубокие обода для бескамерных грузовых шин

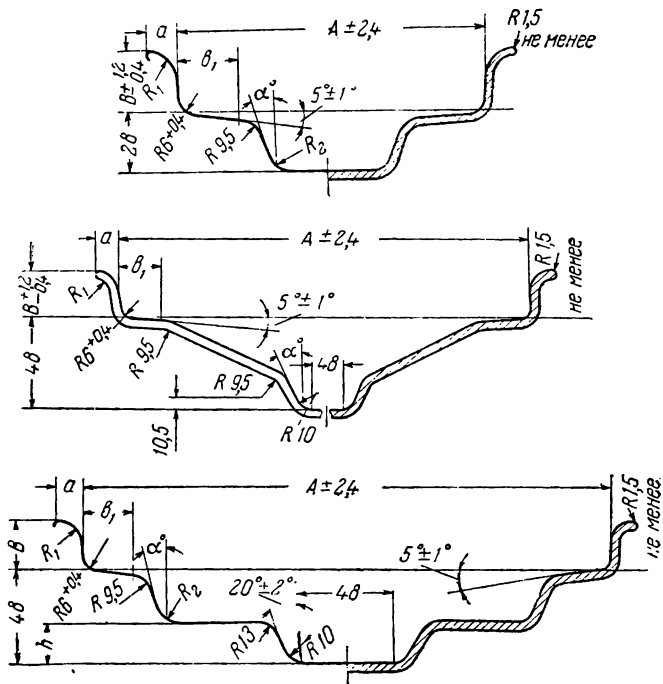
Размер Обод	A, мм	B, мм	H, мм	D, мм	E, мм	R, мм	a, мм	b, мм	c, мм
17,5×5,25	128	27	25	33	26	10	13	23	8
22,5×7.50	179	51,5	26	47	41	6	12	19	11



Обода ведущих колес сельскохозяйственных шин

Обозначение профиля обода	Размер												
	W5	W6	W7	W8 DW8	W9 DW9	W10 DW10	W11 DW11	W12 DW12	DW14	DW16	DW20	W8H	W10H
A, мм	127	152	178	203	229	254	279	305	356	405	508	203	254
B, мм	22	22	22	22	25,5	25,5	25,5	25,5	28,5	28,5	28,5	25,5	25,5
a, мм	10,5	10,5	10,5	10,5	12	12	12	12	12	12	12	12	12
R ₁ , мм	9,5	9,5	9,5	9,5	11	11	11	11	11	11	11	11	11
R ₂ , мм	8	8	8	8	13	13	13	13	13	13	13	13	13
h, мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
α°, мм	—	—	—	20	20	20	20	20	20	20	20	—	—
b ₁ , мм	24	24	24	24	27	27	27	27	37	37	37	33	33

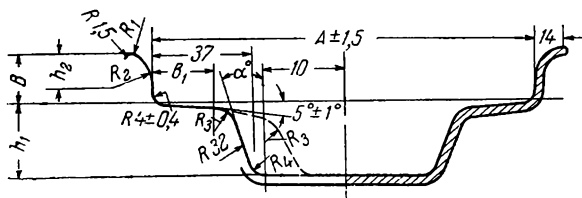
Примечание. Буквой W обозначаются профили ободов в исполнении 1; буквой DW обозначаются профили ободов в исполнении 2 и 3; буквой H обозначается увеличенная ширина конической полки обода в исполнении 1 и 3.



Обода направляющих колес сельскохозяйственных шин

Размер	Обозначение профиля обода	3,00D	4,00E	4,50E	5,50F	6,00Г
	A , мм		76	102	114	140
B , мм		17,5	20	20	22	22
R_1 , мм		8	8,5	8,5	10	10
R_2 , мм		13	14	14	15,5	15,5
R_3 , мм		6,5	9,5	9,5	19	9,5
R_4 , мм		5,0	6,5	6,5	6,5	6,5
h_1 , мм		19	25	25	28,5	28,5
h_2 , мм		12,5	13,5	13,5	14,5	14,5
α°		—	15	15	20	20
b_1 , мм		16	18,5	18,5	24	24

Примечание. В условное обозначение профиля обода входят: цифра, соответствующая ширине обода (в дюймах); буква, определяющая конфигурацию профиля бортовой закраины (комплекс размеров h_1 , R_1 , R_2 , R_4 ; цифра), соответствующая условному диаметру обода.



*Вадим Львович Бидерман, Рувим Львович Гусли-
цер, Сергей Петрович Захаров, Борис Викторович
Ненахов, Иван Иванович Селезнев, Соломон Макси-
мович Цукерберг*

Автомобильные шины, М. Госхимиздат, 1963 г.
(конструкция, расчет, испытание, эксплуатация)

384 с.

УДК 678. 4. 063:629.11.012.5

Б-59

Редактор *Б. Л. Бухин* Техн. редактор *В. В. Коган*

Т 07679.

Подписано к печати 24/VIII 1963 г.

Бумага 60×90¹/₁₆=12 бум. л.=24 печ. л. Уч.-изд. л. 22,28

Заказ 253.

Тираж 5000 экз.

Цена 1 р. 21 к.

Типография Госхимиздата. Москва, 88, Угрешская

210713

