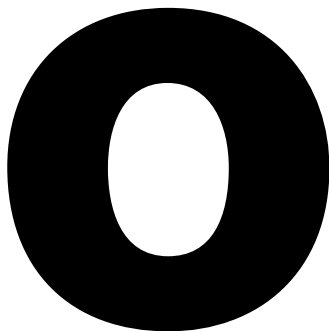


Методологический подход к разработке средств измерений формоустойчивости обуви

Говорится о подходах к расчету элементов конструкции обуви, позволяющих обеспечить необходимый уровень качества изделий. Предлагаемая методология может применяться в качестве основы для расчета элементов конструкций обуви и прогнозирования ее свойств при эксплуатации



А.Н. Буркин

заведующий кафедрой
«Стандартизация»
Витебского государственного
технологического университета,
г. Витебск, Республика Беларусь,
vstu@vitebsk.by,
д-р техн. наук, профессор

Обувь — сложный материальный объект с определенными потребительскими свойствами, проявляющимися в процессе носки изделия. Обувь должна сохранять форму и размеры после снятия с затяжной колодки, в процессе хранения, а также после «приформовывания» к стопе в процессе носки. Формоустойчивость — одно из основных свойств, определяющих ее качество.

Оценка формоустойчивости проводится в два этапа. На первом, производственном, этапе необходимо стремиться к снятию пластической деформации и максимальному снижению остаточных напряжений в материалах заготовки верха обуви. При качественно проведенном процессе формования и правильно спроектированной конструкции заготовки (с учетом упругопластических свойств материалов) формоустойчивость обуви будет достаточной.

В начальный период носки обувь приформовывается к стопе, изменяет свою форму и размеры на величину, связанную с особенностями физиологии и биомеханики стопы. Эта «новая форма» должна длительное время оставаться устойчивой к комплексным воздействиям стопы и окружающей среды. Это второй этап оценки формоустойчивости — эксплуатационный.

Автор предлагает рассматривать две составляющие понятия «формоустойчивость»: статическую (при производстве обуви) и динамическую (при ее носке). Следует отметить неразрывность и непрерывность понятия «формоустойчивость» как относящегося к одному изделию [1]. Оценку формоустойчивости обуви целесообразно проводить при ее производстве, на стадии подготовительных операций, что позволит не только оценить качество

изготовления изделия, но и прогнозировать его эксплуатационные свойства. Однако до настоящего времени не разработаны методы и средства измерений, позволяющие адекватно оценить динамическую формоустойчивость обуви. Это объясняется причинами как объективного, так и субъективного характера: сложностью определения величины контактного взаимодействия системы «стопа — обувь», разногласиями авторов по определению величины допустимого давления обуви на стопу и т.д.

В ряде проводимых автором работ установлено, что основными факторами, влияющими на формоустойчивость обуви в процессе носки, являются механические воздействия стопы [1]. Рассмотрим механизм взаимодействия системы «стопа — обувь» в качестве основы для разработки методов и средств измерения формоустойчивости материалов и обуви с целью прогнозирования эксплуатационных свойств изделия на стадии подготовки производства.

Подавляющее большинство конструкций обуви можно представить в виде оболочек, имея в виду определенную конструкцию, способную выполнять заданные функции: силовые, технологические, эксплуатационные, эстетические.

Итак, обувь как конструкцию можно представить в виде оболочек вращения: носочная часть — полусфера, геленочная — тор, пяточная — эллипсоид, а собственно обувь — как резервуар, испытывающий внутреннее давление, развиваемое стопой.

Среди многочисленных функций, выполняемых оболочками, например в машинах и сооружениях, изделиях легкой промышленности, в первую очередь следует назвать сило-

ключевые слова

формоустойчивость, обувь, прочность и устойчивость оболочек, механизм оценки, эксплуатационные свойства

справка

Многообразные оболочечные системы в технике могут быть систематизированы по разным признакам. Упорядочим «оболочечную» иерархию в приложении к обуви с позиций геометрических, силовых и конструктивных отличительных признаков.

Среди бесконечного многообразия геометрических форм особо выделяют оболочки вращения — цилиндрические, сферические, конические, торообразные и т.д., которые вследствие ряда неоспоримых преимуществ наиболее часто используются в конструктивных решениях. Подобные поверхности получают путем вращения кривых вокруг прямолинейной оси. Оболочку вращения можно рассеять плоскостями, проходящими через ее ось и перпендикулярно к ней. Кривые на поверхности, являющиеся следом пересечения оболочки с плоскостями, проходящими через ось вращения, называются меридианами. Плоскости, перпендикулярные к оси оболочки, пересекают поверхность вращения по параллельным кругам

вые функции и функции разделения. Как силовые конструкции оболочки получили широкое распространение. Оболочки также имеют большие преимущества как изолирующие элементы, воспринимающие поверхностные и краевые нагрузки. Последнее приемлемо для описания таких конструкций, как обувь.

Говоря о функциях оболочек, нельзя не назвать активно разрабатываемые в последнее время конструкции, обладающие заданными свойствами по отношению к окружающей среде: полупроницаемые мембраны, самоподстраивающиеся оболочки. В подавляющем большинстве случаев четкого разделения функций, выполняемых оболочкой, дать нельзя. Оболочки — это структуры с явно выраженными тенденциями к совмещению функций конструкций. И все же среди самых разнообразных свойств следует назвать прочность и устойчивость оболочек, без которых невозможно их существование.

При расчете оболочек принято считать, что материалы представляют собой сплошную однородную среду независимо от особенностей их микроструктуры.

С понятием однородности материала связано понятие его сплошности: материал рассматривается как среда, непрерывно заполняющая отведенный ей объем. Для объяснения указанных свойств существует гипотеза о сплошности и однородности материала. Эта гипотеза играет исключительно важную роль в механике деформируемого твердого тела, так как позволяет

применить к исследованию прочности конструкций аппарат высшей математики — анализ бесконечно малых величин, что открывает широкие возможности для обобщения, унификации и стандартизации. Именно на основе сформулированной гипотезы и концепции упругости материала в точке для бесконечно малой площадки внутри тела вводится одно из важнейших понятий механики — напряжение (σ). Напряжение характеризует меру воздействия внешних нагрузок на атомы и молекулы, составляющие материал, которые вынуждены под действием этих сил менять свое положение при сближении или удалении:

$$\sigma = F/S,$$

где F — действующая сила;

S — площадь поперечного сечения.

На любом этапе нагружения материала при проявлении упругости поведенческий модуль упругости $E = \sigma/\epsilon$ остается постоянной величиной. Именно это положение является основополагающим в сохранении формы обуви в процессе ее носки, то есть после приформовывания к стопе. Таким образом, залогом длительного периода сохранения формы верха обуви является устойчивость материала к действию повторяющихся небольших по величине напряжений, вызываемых стопой при ходьбе, то есть материалы верха обуви в этот период носки должны подчиняться закону Гука.

Одно и то же напряжение вызывает у разных материалов различные удлинения. Следовательно, каждый материал должен иметь свою константу

Оболочки

С понятием оболочки в первую очередь ассоциируется представление о геометрической поверхности. В науке о прочности материалов и конструкций — механике деформируемого твердого тела — классификация объектов основана на особенностях их геометрической формы, определяющий признак которой связан с соотношением характерных размеров. Принято различать и особо выделять элементы конструкций, один размер которых намного больше двух других. К ним относятся оболочки [2].

С данных позиций оболочка — это пространственная конструкция, ограниченная двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми, называемое толщиной, мало по сравнению с остальными размерами [3]. Следовательно, оболочка — прежде всего конструкция тонкостенная. По указанным признакам в разряд оболочек, помимо крупных промышленных объектов и изделий, могут относиться одежда, обувь и т.д. Если оболочка, кроме указанных двух поверхностей, не имеет других границ, она называется

(E), которая определяет способность материала упруго сопротивляться действию внешних сил. Чем больше модуль упругости, тем меньшие деформации возникают в материале при одном и том же уровне действующих напряжений.

На основании этого можно составить наглядное представление о таком важнейшем свойстве материалов, как жесткость. Жесткость материала (модуль упругости) можно вычислить, зная напряжение и вызванное им удлинение. Из закона Гука следует также, что модуль упругости можно рассматривать как напряжение, при котором удлинение при нагружении достигнет первоначальной длины образца. Такие деформации выдерживают, например, резина, некоторые виды искусственных кож, трикотаж и т.д.

Жесткость элемента характеризует не только модуль упругости E , но и площадь поперечного сечения S , а полная жесткость сечения определяется их произведением. Если модуль упругости E (как и предел прочности σ) определяет механические показатели материала, а S — площадь сечения, то жесткость сечения является комплексной характеристикой, учитывающей механико-геометрические свойства конструкции.

Использование цилиндрических оболочек в технике, как правило, связано с нагружением их в процессе эксплуатации внутренним избыточным давлением. Очевидно, что в силу осевой симметричности контура поперечного сечения резервуара именно этот вид нагружения является наи-

более рациональным, так как в оболочке реализуется безмоментное напряженное состояние, следовательно, и наиболее полно используется материал конструкции. С указанной симметрией связан и характер разрушения цилиндрической оболочки при достижении предельного значения внутреннего давления. С прикладной точки зрения процесс разрушения обуви, рассматриваемой как оболочка, нас не интересует, но с позиции теоретического подхода — целесообразно его проанализировать.

На рис. 1а представлен в качестве модели обуви простейший цилиндрический резервуар, закрытый с торцов двумя полусферами. Рассечем его двумя плоскостями: проходящей через ось симметрии емкости и перпендикулярную к ней. Рассмотрим последовательно каждую из полуоболочек. Влияние отброшенной части необходимо заменить напряжениями. Следует выяснить, какие усилия по месту воображаемого разреза нужно приложить, чтобы оставшаяся часть работала как цельная оболочка. Конкретизируем размеры конструкции: R , L , h — соответственно радиус, длина и толщина резервуара, q — внутреннее давление.

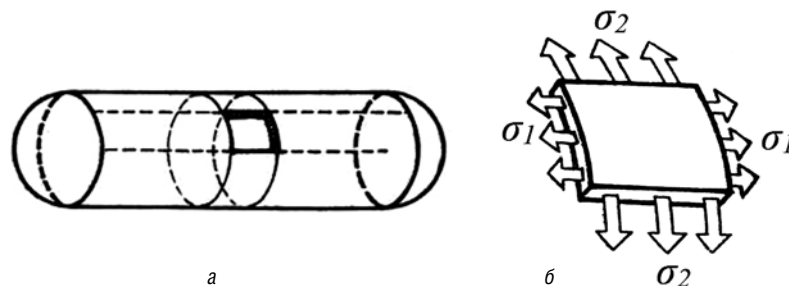


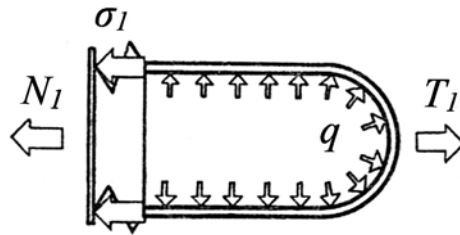
Рис. 1. Цилиндрический резервуар (а) и напряжение в его стенках (б)

замкнутой. Однако из всякой замкнутой оболочки можно выделить часть, которая является незамкнутой.

Оболочка как геометрическая поверхность в любой точке характеризуется двумя взаимно перпендикулярными радиусами кривизны, которые называются главными радиусами кривизны и обозначаются R_1 и R_2 .

В теоретических исследованиях принято представлять оболочку ее срединной поверхностью со всеми геометрическими и физическими свойствами, присущими ее толщине. Таким образом, основными характеристиками оболочки как геометрической фигуры являются радиусы кривизны ее поверхности, толщина и габариты. Один из важнейших показателей, характеризующих свойства оболочки, — отношение ее толщины (h) к радиусу (R). Тонкими, или тонкостенными, оболочками принято считать такие, у которых отношение толщины к радиусу составляет 1:20 и меньше.

Рис. 2. Условие равновесия при определении продольных напряжений



Для определения напряжений, возникающих в сечениях, перпендикулярных оси цилиндра, рассмотрим равновесное состояние полуоболочки. Внутреннее давление стремится оторвать одну половину от другой с усилием $T_1 = q\pi R^2$ (рис. 2). В стенке оболочки возникнут равномерно распределенные напряжения σ_1 , которые определяют результирующее усилие $N_1 = \sigma_2 \cdot 2\pi R h$. Из условия равновесия рассматриваемой полуоболочки следует, что $T_1 = N_1$ или $q\pi R^2 = \sigma_2 \cdot 2\pi R h$.

Из этого равенства находим величину возникающих напряжений:

$$\sigma_1 = qR/2h. \quad (1)$$

Рассмотрим равновесное состояние полуоболочки, отсеченной плоскостью, проходящей через ось симметрии. Усилие T_2 (рис. 3), стремящееся оторвать одну полуоболочку от другой, определяется произведением давления q на площадь диаметрального сечения $2RL$, то есть $T_2 = q2RL$.

В справедливости сказанного легко убедиться, если вместо полуоболочки

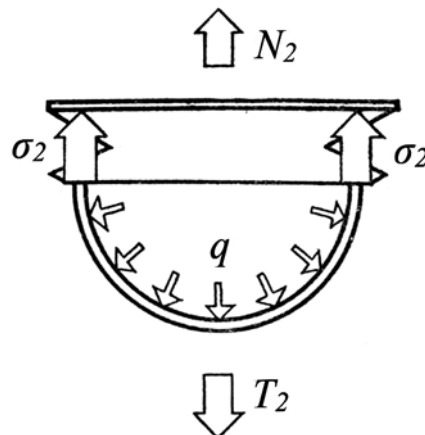


Рис. 3. Условие равновесия при определении окружных напряжений

рассмотреть ее аналог (рис. 4а), в котором действие отображенной части имитируется прямоугольной плитой площадью $2RL$, связанной с полуоболочкой упругой герметичной связью. Например, это фрагмент пучковой части обуви (рис. 4б).

Напряжения в стенке сосуда определяют уравнивающее усилие N_2 , заменяющее действие отброшенной части $N_2 = \sigma_2 2Lh$.

При определении усилий T_2 и N_2 не принимались во внимание торцевые участки, ограниченные полусферами. Однако из-за этого строгость проводимых выкладок не нарушается, поскольку заранее размеры не были оговорены. Предполагается, что длина оболочки произвольна, и всегда с достаточной степенью точности можно выделить среднюю часть резервуара, для которой справедливы приведенные зависимости. Особенности, связанные с деформированием в зонах, прилегающих к днищам, должны быть учтены при проведении специальных расчетов.

Условия равновесия системы, показанной на рис. 3, будут выполняться, если $T_2 = N_2$, а следовательно, $q \cdot 2RL = \sigma_2 \cdot 2Lh$, откуда находим действующие напряжения:

$$\sigma_2 = qR/h. \quad (2)$$

Из полученных формул следует, что возникающие напряжения не зависят от длины цилиндрической оболочки. Главный же результат проведенных расчетов заключается в том, что в стенке цилиндрического резервуара возникают напряжения, действующие в двух взаимно перпендикулярных направлениях: в кольцевых σ_1 и в меридиональных σ_2 . Такое напряженное состояние принято называть двухосным или плоским.

Если мысленно представить элемент оболочки, выделенный двумя меридиональными и двумя параллельными сечениями (см. рис. 1а), то он будет напряжен так, как показано на рис. 1б. На стенки оболочки также действуют усилия в направлении, перпендикулярном к поверхности, однако их величина в R/h раз меньше, чем наибольшие

напряжения σ_1 и σ_2 , а следовательно, напряжение σ_3 можно не принимать во внимание при расчетах на прочность. Из сравнения выражений для σ_1 и σ_2 следует, что кольцевые напряжения в стенке цилиндрического резервуара в два раза больше меридиональных.

Отметим, что кольцевые напряжения σ_2 превосходно проявляют себя и при носке обуви, когда ненадлежащим образом подобраны материалы верха и обувь теряет форму. Это лишний раз демонстрирует правомерность сделанных заключений: под действием давления стопы оболочка (заготовка верха обуви) теряет форму и разрушается в точном соответствии с теорией.

Выведенные формулы в равной степени справедливы при расчете не только элементов конструкции обуви, но и при выборе толщины материалов верха как системы, нагруженной внутренним давлением. Это положение было неоднократно экспериментально подтверждено автором и опубликовано в двух монографиях [1, 4].

Формулы для напряжений применяются в инженерных расчетах при определении толщины как простейших, так и сложных конструкций. Выражения для кольцевого и меридионального напряжений можно найти в любой специальной литературе по теории расчета на прочность оболочечных конструкций.

На основании полученных расчетных зависимостей можно определить напряжения, возникающие в сечении сферической оболочки, нагруженной внутренним давлением, например носочной части обуви. В самом деле, днища резервуара могут быть преобразованы в сферу, то есть напряжения в любом сечении сферы будут такими же, как и напряжения в сечении цилиндрической оболочки, перпендикулярном ее оси. Таким образом, в сферическом резервуаре напряжения во всех сечениях одинаковы и в два раза меньше максимальных напряжений, возникающих в цилиндрической оболочке.

В результате проведенных автором многочисленных исследований, связанных с прогнозированием эксплуа-

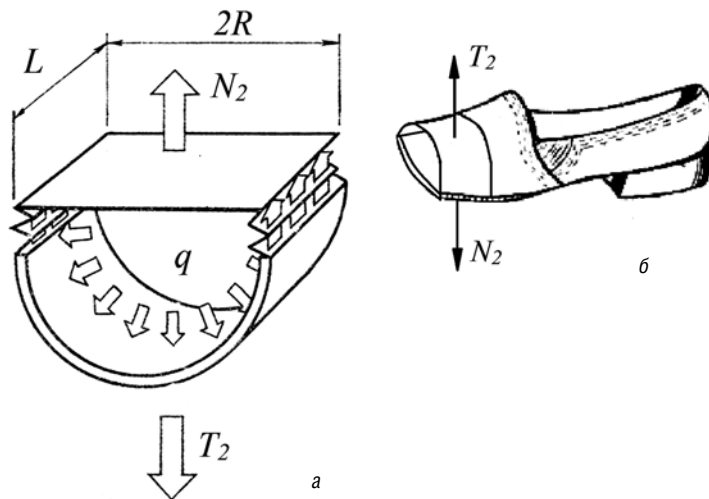


Рис. 4. Сила действующая на оболочку в направлении образующей

тационных свойств материалов для заготовок верха обуви, установлено, что при правильном подборе материалов верха с учетом их упругопластических свойств можно обеспечить необходимую формоустойчивость обуви при ее производстве и в процессе эксплуатации. Для проведения исследований с использованием данного подхода были разработаны методы и запатентованы средства: приборы, устройства и т.д. [1, 4]. Разработанные методы и средства использовались для оценки пригодности материалов верха обуви выдерживать воздействие стопы в период ее эксплуатации и при этом не растаптываться, то есть не терять формы. Для этой цели применялись различные приборы, имитирующие распорные усилия стопы, возникающие при носке обуви. Экономический эффект был получен на ряде обувных предприятий Республики Беларусь за счет уменьшения расхода материалов верха и возврата обуви по причине ее низкой формоустойчивости. Последнее имеет также и социальный аспект.

Известно, что давление стопы в процессе носки обуви вызывает в материалах верха напряжение от 0,2 до 2 МПа [1]. Отсюда нетрудно сделать вывод о том, что если материалы верха работают упруго в пределах этих напряжений, то формоустойчивость обуви в процессе носки будет обес-

печена. Предложенный выше подход может быть использован для расчета элементов конструкции обуви, например клеевых и ниточных соединений, а также рационального подбора материалов, определения их номинальной толщины и т.д.

В этом простом, имеющем ряд допущений новом подходе к прогнозированию формоустойчивости обуви, заключен глубокий теоретический смысл. Он связан прежде всего с тем, что показан механизм оценки эксплуатационных свойств обуви на стадии подготовки производства: мониторинг материалов, моделирование и проектирование обуви, технологические процессы, предшествующие сборке изделия, и т.д. Этот подход может быть использован для оценки эксплуатационных свойств одежды, имеющей облегчающую или полуоблегчающую конструкцию и испытывающей локальное давление, передаваемое телом человека.

Данная методология может быть использована для проектирования и создания новых средств (приборов, стендов, устройств) оценки формоустойчивости обуви и эксплуатационных свойств товаров. Самым главным в ней является новый подход к концепции создания более экономичных и эффективных средств измерений, в которых заложен не биомеханический принцип нагружений, страдающий большой неточностью и длительностью измерений, а имитационный, основанный на напряжениях, возникающих в материалах в процессе эксплуатации изделий.

Предлагаемая методология может стать базовой основой для создания

высокоскоростных пульсаторов, имитирующих воздействие на одежду и обувь частей тела человека и создающих при этом напряжения в материалах, эквивалентные тем, которые возникают при носке изделий.

В завершение хотелось бы обратить внимание на то, что данная методология может дать для товароведения, основными средствами измерений которого являются органолептические методы. Товароведение — наука об основополагающих характеристиках товаров, определяющих их потребительные стоимости, и факторах обеспечения этих характеристик [5, 6]. По сути дела, это наука, которую «пронизывают» понятия о качестве товара. Однако ее теоретические основы должны базироваться не столько на изучении свойств готового товара, сколько на формировании его качества в процессе производства изделий. Мы должны знать эксплуатационные свойства изделий на стадии подготовки производства, то есть задолго до реализации товара в торговой сети. Нетрудно представить, какой экономический и социальный эффект это может дать.

Таким образом, используя принцип аналогии, можно путем введения определенных допущений производить расчеты элементов конструкций даже таких сложных изделий, как обувь. Этот подход является примером перехода от описательного характера теоретического товароведения к фундаментальным основам данной науки, позволяющим использовать современные методы познания для прогнозирования эксплуатационных свойств изделий. ■

Список литературы

1. Буркин А.Н. Оптимизация технологического процесса формования верха обуви: монография / А.Н. Буркин. — Витебск: ВГТУ, 2007.
2. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. — М.: Наука, 1974.
3. Политехнический словарь / Редакционная коллегия: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Большая российская энциклопедия, 2000.
4. Буркин А.Н., Шевцова М.В. Оценка свойств термопластических материалов для подносков обуви: монография / А.Н. Буркин, М.В. Шевцова. — Витебск: ВГТУ, 2011.
5. Николаева М.А. Теоретические основы товароведения: учебник для вузов / М.А. Николаева. — М.: Норма, 2007.
6. Теоретические основы товароведения: учебное пособие / В.Е. Сыцко [и др.]; под общ. ред. В.Е. Сыцко. — Минск: Высшая школа, 2009.