

А.Н. Буркин

доктор технических наук, профессор
ВГТУ (Минск)

А.В. Попов

БГЭУ (Минск)

ОСОБЕННОСТИ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ СТОПЫ, ТРЕБУЮЩИЕ УЧЕТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ОБУВНЫХ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГИБЕ

В номенклатуре потребительских свойств обуви значительное место отводится ее гибкости (изгибной жесткости). Это один из важнейших показателей удобства обуви, кроме того, он доступен для оценки непосредственно покупателями.

Эксплуатационные свойства деталей низа обуви во многом зависят от механизма движения человека, распределения нагрузок и приложения сил на стопу при ходьбе. Поэтому для получения максимально достоверных результатов испытаний обувных подошвенных материалов при изгибе и приближения их к реальным условиям, необходимо рассмотреть динамику и кинематику движения стопы человека при ходьбе.

In the nomenclature of consumer properties of shoes is given to its considerable flexibility (bending stiffness). This is one of the most important indicators of comfort shoes, in addition, it is available to the evaluation of direct purchasers.

Operational properties of soles of shoes is largely dependent on the mechanism of human movement, the load distribution, and application of force on the foot when walking. Therefore, to obtain the most accurate test results shoe sole material in bending, and their approach to the real conditions, it is necessary to examine the dynamics and kinematics of the human foot motion during walking.

Основное назначение стопы — создать опору для тела человека и содействовать его передвижению. Стопа является также амортизирующим, пружинящим аппаратом. Работа стопы аналогична работе скручивающейся спирали или рессоры [1]. При ходьбе стопа выполняет четыре основные функции:

- адаптация к неровностям поверхности;
- поглощение энергии удара при приземлении;
- функция жесткого рычага для передачи вращательного момента вышележащим сегментам;
- перераспределение и смягчение ротационных усилий вышележащих сегментов.

Динамика стопы — это взаимодействие сил, действующих на стопу, и тех нагрузок и напряжений, которые возникают при воздействии этих сил. Стопа — это составная часть биомеханической системы опорно-двигательного аппарата и ее динамика не может быть рассмотрена вне связи с этой системой. Динамика стопы — это и производная от движений опорно-двигательной системы (кинематики). Наиболее типовые движения человека, связанные с нагрузкой стопы, — ходьба.

Стопа преодолевает очень большие по величине и по продолжительности повторяющиеся нагрузки. Скорость, на которой стопа «приземляется» на опору, составляет при быстрой ходьбе 5 м/с (18 км/ч), а при беге до 20 м/с (70 км/ч), что определяет силу столкновения с опорой, равную 120—250 % массы тела. В течение дня обычный человек совершает от 2 до 6 тыс. шагов (за год — 860 000—2 085 600 шагов).

При ходьбе человек последовательно опирается то на одну, то на другую ногу. Эта нога называется опорной. Контралатеральная (противоположная) нога в этот момент выносятся вперед (переносная нога). Период переноса ноги называется фазой переноса. Полный цикл ходьбы — период двойного шага — складывается для каждой ноги из фазы опоры и фазы переноса конечности. В опорный период активное мышечное усилие конечностей создает динамические толчки, сообщающие центру тяжести тела ускорение, необходимое для поступательного движения. При ходьбе в среднем темпе фаза опоры длится примерно 60 % цикла двойного шага, фаза опоры примерно 40 %. Рассмотрим наиболее общие перемещения тела в сагиттальной плоскости в процессе двойного шага. Началом двойного шага принято считать момент контакта пятки с опорой. В норме приземление пятки осуществляется на ее наружный отдел. С этого момента эта (правая) нога считается опорной. Иначе эту фазу ходьбы называют передний толчок — результат взаимодействия силы тягести движущегося человека с опорой. На плоскости опоры при этом возникает опорная реакция, вертикальная составляющая которой превышает массу тела человека.

Биомеханика стопы и функции стопы в различные фазы шага различны. Если в фазе амортизации основная задача стопы — смягчение удара при контакте с поверхностью, то в период опоры на всю стопу задача стопы — перераспределение энергии для эффективного выполнения следующей фазы — отталкивания от опоры. Задача этой фазы — передача лежащим выше сегментам силы реакции опоры.

Реакция опоры — это силы, приложенные к стопе. Вступая в контакт с поверхностью опоры, стопа испытывает давление со стороны опоры, равное и противоположное тому, которое стопа оказывает на опору. Это и есть реакция опоры стопы. Эти силы неравномерно распределяются по контактной поверхности.

Точка приложения вектора реакции опоры на стопу иначе называется центром давления. Это важно для того, чтобы знать, где находится точка приложения сил, действующих на тело со стороны опоры. При исследовании на силовой платформе эта точка называется точкой приложения силы реакции опоры. Траектория силы реакции опоры в процессе ходьбы изображается в виде графика: зависимость величины силы реакции опоры от времени опорного периода. График представляет собой перемещение вектора реакции опоры под стопой. Нормальный паттерн — траектория перемещения реакции опоры при нормальной ходьбе — представляет собой перемещение от наружного отдела пяди вдоль наружного края стопы в медиальном направлении к точке между первым и вторым пальцем стопы.

Траектория перемещения переменна и зависит от темпа и типа ходьбы, от рельефа поверхности опоры, от типа обуви, а именно от высоты каблука и жесткости подошвы.

Смягчение инерционной нагрузки при ходьбе и беге осуществляется сложным комплексом суставно-связочного аппарата, соединяющего 26 основных костей стопы, в котором выделяют три продольных и поперечный свод.

Рассмотрим строение только одного из них — среднего продольного свода. Пяточная, таранная и кости плюсны и предплюсны образуют своеобразную арку — рессору, способную уплощаться и расправляться. Нагрузка — масса тела — распределяется равномерно на передний и задний отделы стопы. Передний и задний отделы стопы соединены в единую кинематическую цепь мощным эластичным сухожилием — подошвенным апоневрозом, который подобно пружине возвращает распластанный под нагрузкой свод стопы.

Стопа «приземляется» на наружный отдел пятки. Затем на протяжении фазы «приземления» центр силы реакции опоры смещается к центру стопы в фазе опоры на всю стопу и на ее передний внутренний отдел в фазу отталкивания.

Биомеханический смысл такой траектории перемещения точки приложения силы реакции опоры заключается в том, что при этом в различные фазы опоры создаются вращающие моменты, которые вызывают следующие движения в суставах стопы: супина-

ция стопы (ч. 1 рис. 1); пронация стопы (ч. 2 рис. 1); вновь пронация стопы, при которой суставы стопы замыкаются и стопа приобретает жесткость, необходимую для передачи энергии верхним сегментам (ч. 3 рис. 1).

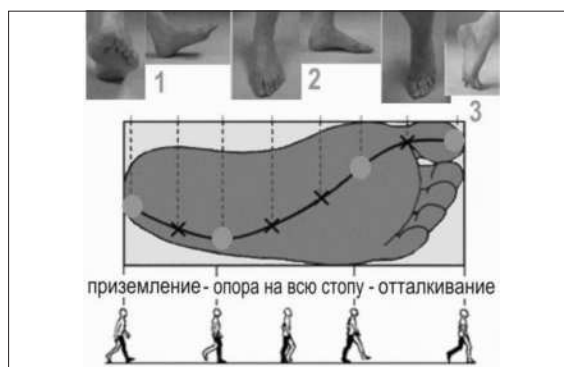


Рис. 1. Фазы опорной реакции стопы человека при ходьбе и беге

Источник: [2].

При опоре на всю стопу суставы размыкаются, стопа легко адаптируется к поверхности опоры. В этот период сухожилие стопы запасает энергию в виде энергии упругих связей, которую затем возвращает в период отталкивания.

И в фазе отталкивания, в фазе опоры на передний отдел, нагрузка перемещается на первую плюсневую кость и большой палец ноги. Подгибание первого пальца и отталкивание от опоры завершает опорную фазу шага. Стопа отрывается от опоры.

График вертикальной составляющей опорной реакции при ходьбе в норме имеет вид плавной симметричной двугорбой кривой (рис. 2). Первый максимум кривой соответствует интервалу времени, когда в результате переноса тяжести тела на опорную ногу происходит передний толчок; второй максимум (задний толчок) отражает активное отталкивание ноги от опорной поверхности и вызывает продвижение тела вверх, вперед и в сторону опорной конечности.

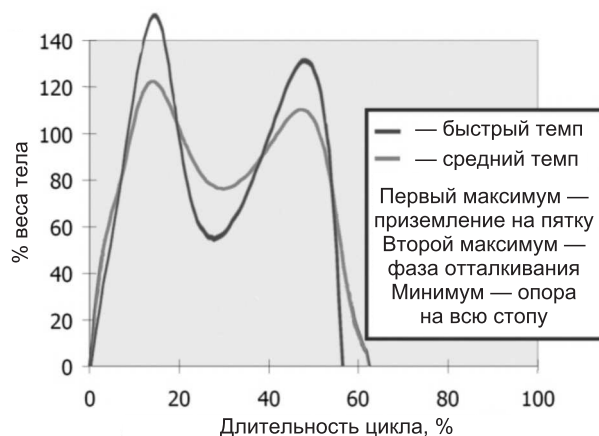


Рис. 2. Вертикальная составляющая вектора опорной реакции

Источник: [2].

Таким образом, наибольшему изгибу стопы подвергается в области плюснефалангового соединения. Здесь на нее действует и максимальное давление.

Оба максимума расположены выше уровня массы тела и составляют при медленном темпе примерно 100 % массы тела, при произвольном темпе — 120, при быстром — 150 и 140 % соответственно.

Минимум опорной реакции расположен симметрично между ними, ниже линии массы тела. Возникновение минимума обусловлено задним толчком другой ноги и последующим ее переносом. При этом появляется сила, направленная вверх, которая вычитается из массы тела. Минимум опорной реакции при разных темпах составляет от массы тела соответственно: при медленном темпе — примерно 100 %, при произвольном темпе — 70 %, при быстром — 40 %.

Таким образом, общая тенденция при увеличении темпа ходьбы состоит в росте значений переднего и заднего толчков и снижении минимума вертикальной составляющей опорной реакции.

Анализ взаимодействия системы «стопа—обувь» при ходьбе показывает, что в фазе «перекат через передний отдел» пятка отрывается от опоры, а передний отдел стопы, на который переносится давление тела человека, прижимает переднюю часть низа обуви к опоре [3]. При изгибе стопы в плюснефаланговом сочленении пятка, поднимаясь, тянет за собой пяточную часть обуви. При этом, как правило, происходит небольшое скользящее движение пятки стопы относительно пяточной части обуви, которая плотно охватывает стопу благодаря наличию жесткого задника. Пятка стопы, стремясь выйти из жесткого задника, оказывает на него давление. Это увеличивает силы трения между стопой и внутренней поверхностью обуви в области пятки, в результате чего пяточная часть обуви изгибается вслед за стопой. Максимальное усилие изгиба при этом приложено в наиболее выступающей точке пяточного закругления. Если верх обуви охватывает тыльную часть стопы в области плюсны, то стопа оказывает давление и на этот участок обуви (берцы, чересподъемный ремень, перед сапога). При этом человек затрачивает определенные усилия для изгибания обуви на некоторый угол.

Естественно, что чем больше плечо изгиба (расстояние от места приложения силы до места изгиба), тем меньше усилий необходимо приложить для изгиба обуви. Так, по данным Н.Г. Хоменковой, усилия для изгибания обуви 245 размера составили 60 Н, а обуви 280 размера — 45 Н, т.е. снизились примерно на 25 % [5].

Таким образом, при определении изгибной жесткости обуви следует исходить из механизма изгиба обуви при ходьбе, т.е. подъема пяточной части при неподвижном положении носочно-пучковой части. При оценке жесткости обуви наряду с такими факторами, как свойства материала стелек и подошв, их толщина, метод крепления, обязательно нужно учитывать и такой фактор, как размер обуви (плечо изгиба).

Известно, что изгибная жесткость обуви в процессе носки уменьшается. Это связано с тем, что при действии многократных изгибающих воздействий происходит снижение напряжений в швах, соединяющих верх и низ обуви, деформация самих деталей и их износ, приформовываемость деталей верха и низа обуви к стопе и т.д. По имеющимся данным усилия изгибания ношенной обуви на угол 25° составляют примерно 40—60 % первоначальных усилий изгибания ее до носки. Это говорит о том, что для объективной характеристики обуви по показателю «изгибная жесткость» необходимо измерять как начальную жесткость, так и жесткость после определенного числа циклов изгиба. Известно, что постоянная гибкость обуви устанавливается после 10 000 изгибаний.

Во время движения стопа изгибается в голеностопном и плюснефаланговом сочленениях. Такие же явления наблюдаются при подъеме пятки на каблук, при этом происходит небольшой изгиб стопы в межпредплюсневых суставах. Центр качания (изгиба) плюсневых костей находится в области их центра, который приподнят над опорой. Кро-

ме того, из-за наличия между нижними сторонами головок плюсневых костей и опорой капсюльной прокладки, сухожилий, жирового слоя и кожи величина подъема увеличивается.

Так как головки плюсневых костей имеют разные размеры, то центр качания каждой плюсневой кости находится на различном расстоянии от наиболее выпуклой точки пятки. Условно принято, что оси качания проходят через головку первой плюсневой кости и конец мизинца и находятся на 0,73 Д и 0,8 Д от наиболее выпуклой точки пятки и на расстоянии (0,1—0,17)Д или (0,23—0,33)Шн.п и (0,04—0,07)Д, или (0,1—0,13)Шн.п от опоры при стоянии.

Угол изгиба стопы в данном участке может быть различным, однако большинство существующих методов оценки обуви предусматривают ее изгиб в пучках на угол 25°. Такой угол изгиба был выбран на основе среднестатистических данных об изгибе низа обуви. У разных людей при ходьбе в обуви различной жесткости угол изгиба колеблется в пределах 22—39° [3].

Существует точка зрения, что, начиная с определенной величины подъема пяточной части обуви в дальнейшем не происходит никакого изгиба низа обуви при ходьбе [3]. Вследствие этого гибкость обуви с высотой каблука 60 мм и более оценивать не следует.

Анализ результатов проведенного В. Горбачиком исследования угловых перемещений женской обуви с различной высотой каблука показывает, что с увеличением высоты каблука происходит изменение угловых перемещений низа обуви при ходьбе, обусловленное предварительным подъемом пяточного отдела стопы на некоторый угол и стремлением опорно-двигательного аппарата человека сохранить при передвижении естественные условия переката стопы. С увеличением высоты каблука от 20 до 80 мм реальный угол изгиба обуви уменьшается с 36 до 12°.

Несоответствие реальных и расчетных углов изгиба низа обуви объясняется наложением обувью дополнительных связей на работу стопы и ее изгиб в плюснефаланговом сочленении. Предложенная в работе «Krafte und Beanspruchungen am Schuhboden» формула определения угла изгиба обуви с различной высотой каблука не учитывает влияния жесткости обуви на угол изгиба, так как в ней за исходный берется угол изгиба не обуты стопы. Подсчет же суммарного угла подъема пятки над опорой при различной высоте каблука показывает, что в пределах ошибки опыта его можно считать постоянным для обуви определенной жесткости, т.е. угол изгиба с увеличением высоты каблука уменьшается по линейному закону.

На основе всего перечисленного, отметим ряд моментов, на которые следует опираться при разработке методов и средств испытаний материалов для низа обуви на изгиб либо проведении исследований свойств подошвенных материалов при изгибе для того, чтобы приблизить условия экспериментов к реальным условиям ходьбы (носки обуви):

- так как человек в процессе ходьбы опирается то на одну, то на другую ногу, изгибая периодически стопу, эксперимент должен включать изгибающее воздействие на образец, частота которого должна быть не менее реальной частоты изгиба подошвы при ходьбе;
- максимальное усилие имеет место в наиболее выступающей точке пяточного закругления, т.е. в момент максимального изгиба в области плюснефалангового сочленения стопы. Таким образом, при испытании на изгиб наибольшее усилие (давление) должно прилагаться именно к этой части образца (в случае испытания целых подошв обуви);
- чем больше длина подошвы (образца), тем меньшее усилие необходимо для ее изгиба;
- чем больше высота каблука, тем меньше реальный уровень изгиба подошвы;
- угол изгиба при испытаниях должен быть не менее 22°.

Л и т е р а т у р а

1. Анатомия человека: учеб. для студ. ин-тов физ. культуры / под ред. В.И. Козлова. — М.: Физкультура и спорт, 1978. — С. 132—144.
2. Изгиб стопы // Левша [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://levhsa.com>. — Дата доступа: 13.04.2012.
3. Горбачик, В. Кожа и обувь / В. Горбачик // ЛегПромБизнес [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://textile.bz>. — Дата доступа: 18.05.2012.
4. Кинематика и динамика стопы при ходьбе // Народ [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://v-ugnivenko.narod.ru/foot1/3.htm>. — Дата доступа: 13.04.2012.
5. Хоменкова, Н.Г. Определение жесткости обуви / Н.Г. Хоменкова // Сб. тр. ЦНИИКПа. — 1957. — № 27. — С. 66—75.

Статья поступила в редакцию 12.12.2012 г.

Р.П. Валевич

*кандидат экономических наук, профессор
БГЭУ (Минск)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОСТА ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДАЖАМИ

В статье обоснована взаимосвязь и взаимообусловленность процессов формирования добавленной стоимости и создания инновационной системы управления товарооборотом.

The article covers the interconnection and interdependence of the processes involved in the formation of the added cost and creation of innovative system for commodity circulation.

Результативность деятельности торговой отрасли в Республике Беларусь до недавнего времени оценивалась по показателю «розничный товарооборот». В программных документах развития экономики страны данный показатель признавался критерием развитости торговли и доводился ей в качестве контрольного задания. По темпам роста этого показателя оценивалась эффективность работы отрасли и торговых субъектов. И поэтому деятельность специалистов разного уровня управления была направлена на обеспечение достижения поставленных задач по развитию розничного товарооборота, темпы роста которого в последние 10 лет постоянно превышали доведенное задание. Вместе с тем ориентация на достижение объемных показателей по росту товарооборота не обеспечила необходимое накопление финансовых ресурсов для экономического роста и развития торговых субъектов, их инновационного обновления. Этому препятствовали не только ориентиры на количественные показатели, но и резкое изменение условий хозяйствования на рынке потребительских товаров и услуг. Большинство торговых субъектов стали функционировать на основе частной формы собственности; на рынке торговых услуг появились новые игроки, ужесточилась конкуренция; процессы глобализации стали перетекать и на территорию Республики Беларусь в виде образования торговых сетей; мировой финансовый кризис привел к резкому росту инфляции с соот-