

2. Хаяк Г.С. Волочение проволоки из цветных металлов и сплавов / Г.С. Хаяк. – М.: Металлургия, 1967. – 151 с.
3. Tomashuk A. Device for monitoring the temperature and diameter of an extended cylindrical object in the high-temperature manufacturing process / A. Tomashuk // IOP conference series: Materials science and engineering. – 2018. – Vol. 450. – 032018.
4. Method and device for testing the parameters of the wire from NiTi alloy in the high-temperature manufacturing process with use an inert gas / R. Galagan, A. Muraviov, A. Tomashuk // IOP conference series: Materials science and engineering. – 2019. – Vol. 537. – 032072.
5. Modeling by numerical reduction of modes for multivariable control of an optical-fiber Draw process / K.-M. Lee, Zh. Wei, Zh. Zhou // IEEE transaction of automation Science and Engineering. – 2006. – Vol. 3. – Iss. 1. – P. 119–130.
6. Numerical analysis of continuous die-less wire drawing process / R.J. Mohammed, J. Alsalaet, A.A. Nassar // International journal of engineering & technology. – 2018. – Vol. 7. – P. 699–704.
7. Effective temperature distribution and drawing speed control for stable dieless drawing process of metal tubes / T. Furushima, S. Hirose, K. Manabe // Journal of solid mechanics and materials engineering. – 2009. – Vol. 3. – Iss. 2. – P. 236–246.
8. Formability discussion in dieless drawing of stainless steel tubes / Y.M. Hwang, Z.S. Li, T.U. Lin // Key engineering materials. – 2014. – Vol. 626. – P. 10–15.
9. Hwang Y.-M. Formability analysis and oxidation layer effects in dieless drawing of stainless steel wires / Y.-M. Hwang, H.-H. Liu // Metals. – 2019. – Vol. 9. – 828.
10. Experimental study and artificial neural networks prediction of effective parameters in continuous die-less wire drawing process / R.J. Mohammed, J.Kh. Ali, A.A. Nassar // Bashar journal of engineering sciences. – 2019. – Vol. 19. – Iss. 1. – P. 52–63.
11. Optimization of dieless drawing process based on artificial intelligence / Y. He, X. Liu, J.X. Xie, X.J. Ban. – 2008. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/289307389_Optimization_of_dieless_drawing_process_based_on_artificial_intelligence.
12. Prediction model of wire diameter in dieless drawing process based on BP neural network / Y.-Q. Yang, Y. He, X. Liu, J.-X. Xie. – 2008. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/292530528_Prediction_model_of_wire_diameter_in_dieless_drawing_process_based_on_BP_neural_network.

УДК 617.3

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТОПЫ**Цапенко В.В., Терещенко Н.Ф.***НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Киев, Украина*

В современной биомедицинской инженерии достаточно молодым и перспективным направлением является клинический анализ двигательной деятельности – исследования различных патологий ходьбы и основной стойки, с использованием методов биомеханики. Не вызывает сомнений значимость оценки функционального состояния опорно-двигательной системы у пациентов ортопедического и неврологического профиля [1]. В последние годы количество заболеваний, травм и патологий опорно-двигательного аппарата неуклонно растет, что существенно влияет на качество жизни населения. Различные заболевания и повреждения опоры нередко сопровождаются серьезными функциональными нарушениями двигательного аппарата, снижением силы и тонуса мышц, утратой способности к нормальным движениям, что в итоге приводит к инвалидности и последующей потере трудоспособности [2]. Диагностика осанки человека не была бы полной без измерения и оценки состояния опорно-рессорных свойств ее стопы. Стопа является структурным сегментом опорно-двигательного аппарата, которая обеспечивает его стато-локомоторную функцию, и представляет собой целостный морфофункциональный объект, от которого зависит двигательная функция человека. В течение жизни, в той или иной степени изменяются функциональные параметры стопы. В первую очередь они

касаются ее рессорной и опорной функций. В случае нарушений симметричности нагрузки стопы в положении стоя или при ходьбе, а также за счет снижения упругих характеристик стопы – снижаются ее амортизационные свойства, что приводит к увеличению ударной нагрузки и усилению вибрационных воздействий на весь опорно-двигательный аппарат [3, 4]. В связи с этим морфофункциональная диагностика состояния стоп является существенным элементом профилактики ряда нарушений опорно-двигательного аппарата, а прикладной аспект анализа локомоций человека, в современной биомедицинской инженерии, является очень актуальным и перспективным. Для объективной оценки влияния распределения нагрузки по стопе на локомоции необходимые клинический анализ движения и постурологичне обследование (исследование положения принятого телом) [5, 6]. С целью повышения точности исследования биомеханических параметров стопы, необходимо учесть влияние динамических нагрузок – реакций опоры на нагрузку соответствующей зоны цикла шага.

Цель исследования заключается в повышении точности и достоверности исследования биомеханических параметров стопы человека.

Методы исследования. Поставленная задача решается путем применения комплексного подхода с использованием анализа и обобщения

данных специализированной научно-методической литературы, визуального скрининга, бароподометрии и методов математической статистики. При исследовании использовался метод бароподометрии, который позволяет объективизировать исследования с учетом всех составляющих нагрузки стопы. В ходе исследования были определены основные пространственно-временные параметры цикла шага.

Основная функциональная единица ходьбы – это цикл шага (рисунок 1). Цикл шага – это время от начала контакта конечности с опорой к следующему такому же контакту этой же конечностью. Среднее время цикла шага, при нормальной ходьбе приближается к 1 с. Цикл шага, для каждой конечности, состоит из трех основных периодов: периода опоры, переноса и двойной опоры [1]. Исследованиями в области биомеханики установлено, что усилия, которые прикладываются во время движения имеют вертикальные и горизонтальные составляющие. Походка – это сложное циклическое движение, связанное с отталкиванием тела от опорной поверхности и перемещением его в пространстве. Усилия, которые при этом применяются имеют динамический характер. Характерным для нормальной походки является постоянное хранение опоры на одну или две конечности.

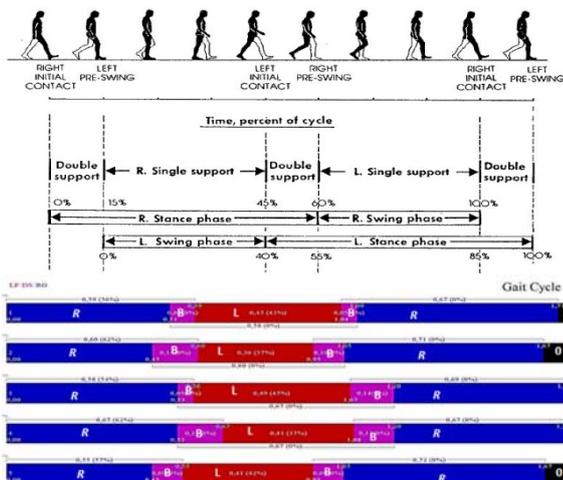


Рисунок 1 – Цикл шага

На рисунке 1 красным цветом (отмечено буквой L), обозначены периоды опоры на левую нижнюю конечность, синим (отмечено буквой R) – на правую, розовым цветом (отмечено буквой B), обозначены периоды двойной опоры (на две конечности), черный цвет (отмечено 0), характеризует отсутствие контакта. Проанализировав цикл шага можно прийти к выводу, что период переноса одной конечности равен периоду одиночной опоры на противоположную конечность [1]. В то же время, для правой, период опоры на правую конечность больше чем на левую, для левой – наоборот.

С целью анализа распределения динамической нагрузки на опорную поверхность, введем коэффициент динамической нагрузки K_{dl} [1].

$$K_{dl} = P_i \cdot S_i \cdot t_i \quad (1)$$

где P_i – значение нагрузки на i -ю характеристику цикла шага стопы (период отталкивания, переката и приземления), кг/м²; S_i – площадь характеристики, м²; t_i – время действия характеристики, с.

В ходе проведенных исследований был установлен период опоры каждой характеристики цикла шага стопы при одиночной опоре, на основе полученных данных был рассчитан коэффициент динамической нагрузки каждой области стопы. Результаты исследования для динамической нагрузки приведены в таблице 1 (где med – внутренний, lat – внешний край стопы) [1].

Таблица 1 – Распределения динамической нагрузки

Х-ка цикла шага		t, с	S, см ²	P, кг/см ²	K _{dl} , кг·с
Area A	lat	0,25	77	0,0464	0,88
	med			0,0474	0,9
Area B	lat	0,11	24	0,0433	0,11
	med			0,0332	0,09
Area C	lat	0,25	49,5	0,0546	0,68
	med			0,0538	0,67
Area F	lat	0,23	85	0,0462	0,91
	med			0,0511	1
Area E	lat	0,09	34	0,0378	0,11
	med			0,0479	0,14
Area D	lat	0,3	57	0,0478	0,81
	med			0,0514	0,88

Таким образом, анализ полученных данных показывает, что максимальный контакт за единицу времени имеет передний отдел стопы (фаза отталкивания – Area A, F) далее – задний отдел стопы (фаза приземления – Area C, D) и минимальный – средний отдел стопы (фаза переката – Area B, E).

Выводы. Таким образом проблема оценки биомеханических параметров и ранней диагностики повреждений и деформации стоп актуальна при выборе способов профилактики, лечения, изготовления индивидуальных ортезов стопы и оценки их эффективности.

Бароподометричне исследования стопы вместе с анализом количественных характеристик является методом получения релевантных биометрических данных, имеющих важное значение в практической биомедицинской инженерии. Розделение стопы на зоны, в процессе анализа, дает возможность получить достоверную количественную оценку распределения нагрузки по опорной поверхности стопы и проводить его комплексный анализ на основании анатомо-функциональных представлений. Предложен новый метод анализа динамической нагрузки на стопу, который сводится к определению коэффициента динамической нагрузки, который показывает наиболее

нагруженную опору в единицу времени. Установлено, что максимальное значение динамической опоры за единицу времени приходится на передний отдел стопы, минимальное – на средний отдел стопы. Теоретические расчеты нашли экспериментальные подтверждения.

Практическое значение полученных результатов заключается в усовершенствовании существующих методов диагностики функциональных параметров стопы, разработке, изготовлении и внедрении в медицинскую практику комплексной диагностической системы исследования биомеханических параметров стопы человека.

Литература

1. Tsapenko V. Analysis of Dynamic Load on Human Foot / V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko and V. Shevchenko // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400–404. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088788

2. Tsapenko V. Models of evaluation of biomechanical parameters of lower extremities in children / V.V. Tsapenko, M.F. Tereshchenko, G.S. Tymchik // KPI Science News 2019 / 1, 67–75. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812

3. Кашуба В.А. Биомеханика осанки: монография. – Киев: Олимпийская литература, 2003. – 280 с.

4. Tsapenko V. Method of study of spatial parameters of the human foot / V. Tsapenko, N. Tereshchenko // in Proc. XI Int. Sci. Tech. Conf. Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2018), Kyiv, Ukraine, May 22–23, 2018, pp. 157–159.

5. Цапенко В.В. Анализ влияния разновысокости нижних конечностей на биомеханические параметры походки / В.В. Цапенко, Н.Ф. Терещенко // Вестник Киевского политехнического института. Серия: Приборостроение. – 2019. – Вып. 57 (1). – С. 102–107. DOI: 10.20535/1970.57(1).2019.172034

6. Ромакина Н. Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы (обзор) / Н. Ромакина, А. Федонников, С. Киреев // Саратовский научно-медицинский журнал. 2015. – № 3. – С. 310–316.

УДК 621.382

ОБЛУЧЕННЫЕ ГАММА-КВАНТАМИ ПЛЕНКИ ПОЗИТИВНОГО РЕЗИСТА ФП9120 НА ПЛАСТИНАХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Бринкевич Д.И.¹, Просолович В.С.¹, Черный В.В.²

¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Полимерные композиты широко используются в качестве резистов при производстве полупроводниковых приборов и интегральных микросхем [1, 2]. Основным типом позитивных резистов являются диазохинон-новолачные (ДХН) резисты, представляющие собой композит из светочувствительного орто-нафтохинондиазида и фенол-формальдегидной смолы обычно в соотношении 1:5 [3]. В качестве растворителей чаще всего используются смеси ацетатов спиртов и гликолей. Целью настоящей работы было исследование модификации спектров нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) пленок позитивного диазохинон-новолачного резиста ФП9120 при облучении γ -квантами ⁶⁰Со.

Методы. Пленки позитивного диазохинон-новолачного резиста ФП9120 толщиной 2,5 и 5,0 мкм наносились на поверхность Si методом центрифугирования [4]. В качестве подложек использовались пластины (диаметром 100 мм) монокристаллического кремния марки КДБ-10 с ориентацией (111). Облучение резистивных пленок γ -квантами дозой до 300 кГр проводилось на установке МРХ- γ -25М с источником ⁶⁰Со. Мощность поглощенной дозы составляла

0,12 ± 0,003 Гр/с. Спектры НПВО структур резист-кремний в диапазоне $\nu = 400\text{--}4\,000\text{ см}^{-1}$ регистрировались при комнатной температуре ИК-Фурье спектрофотометром ALPHA (Bruker Optik GmbH). Разрешение составляло 2 см⁻¹, количество сканов – 24. Коррекция фона проводилась перед каждым измерением.

Экспериментальные результаты. Заметные изменения спектров НПВО резистивных пленок наблюдались только при поглощенных дозах $D \geq 200\text{ кГр}$. При меньших дозах спектры облученных и исходных пленок совпадали. Новых полос НПВО в облученных пленках резиста ФП9120 не обнаружено. Облучение дозой свыше 200 кГр приводило к снижению интенсивности практически всех полос НПВО. Исключение составили лишь полосы в диапазоне волновых чисел 1 550–1 670 см⁻¹, обусловленные колебаниями ароматического кольца (рисунок 1) у полосы, обусловленной скелетными колебаниями ароматического кольца [5], наблюдается несколько максимумов – наиболее интенсивный при 1 595 см⁻¹ и малоинтенсивные при 1 606, 1 560 и 1 540 см⁻¹ (рисунок 1). При γ -облучении дозой свыше 200 кГр интенсивность основной полосы при 1 595 см⁻¹