

УДК 616.314-77:544.632:57.085.2

Е.К. Севидова, И.И. Степанова, М.Г. Щеголева, Т.Г. Кроливец**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

**Харьковская медицинская академия последипломного образования*

ИССЛЕДОВАНИЕ *IN VITRO* ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ БРЕКЕТ-СИСТЕМ

Одним из основных недостатков долгосрочного использования в полости рта различных металлических конструкций и приспособлений при ортодонтическом лечении зубочелюстных аномалий и деформаций у детей и подростков является проявление металлами электрохимических свойств и участие в электрохимических процессах, которые могут протекать в полости рта и вызывать гальванозы. В ходе настоящей работы разработана методика измерения электрохимических потенциалов металлических изделий для ортодонтического лечения, в том числе и мелкогабаритных, которая позволяет повысить объективность результатов измерений, а также оценить электрохимическую «неоднородность» отдельных металлических конструкций. Проведены исследования четырех видов реальных ортодонтических изделий: брекетов самолигируемых с никель-титановыми клипсами, ретейнеров (сталь 304), индивидуальных колец с проволочными распорками (X18H9T) и брекетов стандартного лигирования (сталь 304). Установлено, какие ортодонтические изделия обладают минимальным риском развития гальваноза, а какие являются наиболее неоднородными с точки зрения электрохимической активности. Предложенная методика исследования электрохимических потенциалов ортодонтических изделий может быть использована на предварительном этапе лечения для оценки вероятности развития гальваноза у пациентов.

Ключевые слова: ортодонтические изделия, гальваноз, электрохимические потенциалы, брекет, ортодонтические кольца, ретейнеры.

Введение

Ортодонтическое лечение зубочелюстных аномалий и деформаций у детей и подростков предусматривает долгосрочное использование в полости рта различных металлических конструкций и приспособлений – брекетов, ретейнеров, замков или колец с распорками, проволочных дуг и т. п. Все они изготовлены из неблагородных коррозионно-стойких металлов и сплавов, чаще всего из нержавеющей хромоникелевых аустенитных сталей типа X18H10T (зарубежный аналог – сталь 304), мартенситных – 08X17 (аналог – сталь 430), никель-титановых и никель-молибденовых сплавов.

Коррозионная стойкость таких материалов в средах ротовой полости очень высокая и подтверждена многолетней медицинской практикой их использования. Общим же недо-

статком, как и всех других металлов, в том числе и благородных, применяемых в стоматологии, является проявление ими электрохимических свойств и участие в электрохимических процессах, которые могут протекать в полости рта и вызывать гальванозы.

Коррозионно-электрохимическую активность металлического материала оценивают по величине электрохимического потенциала, который устанавливают на границе раздела поверхности и электролита (ротовой жидкости). С одной стороны, его значения зависят от химического состава металлического включения, состояния поверхности (шероховатости, наличия пассивирующих оксидных или солевых пленок), внутренних напряжений (сжимающих или растягивающих) в результате воздействия механических и термических факторов в процессе изготовления стома-

© Е.К. Севидова, И.И. Степанова, М.Г. Щеголева, Т.Г. Кроливец, 2017

тологических изделий. С другой стороны, на значения электродных потенциалов влияет состав ротовой жидкости и ее кислотность (показатель pH). Значения потенциалов и характер изменения их во времени позволяет прогнозировать коррозионное поведение в различных условиях, а также оценивать способность стоматологических сплавов восстанавливать пассивное состояние после механической депассивации – чистки зубов.

Однако в практике стоматологии чаще оперируют не значениями отдельных электрохимических потенциалов, присущих тому или иному металлическому включению, а их разностью, поскольку именно она является первопричиной возникновения гальванопар в полости рта и, как следствие, возникновения гальваноза. Методам диагностики, профилактики и лечения этого явления посвящены многочисленные исследования [1–8].

Как правило, разность потенциалов разнородных металлических включений в полости рта определяют путем прямого измерения с помощью высокоомного потенциометра и двух электродов-щупов, которые касаются металлических поверхностей [2, 3]. К относительным недостаткам такого метода прежде всего можно отнести невозможность определения самого активного металлического включения в целях его дальнейшего вычлечения или замены. Кроме того, при такой схеме измерения материал контактных электродов попадает в слюну и влияет на интегральные значения электродного потенциала металлического включения и тем самым способствует «сглаживанию» разности потенциалов. Отрицательно сказывается на корректности измерения механическая депассивация (царапание) поверхности, возникающая в момент установки контакта с электродом-щупом и приводящая к всплеску, т. е. резкому смещению значения электродных потенциалов в отрицательную (негативную) область.

Указанные проблемы частично решаются в методиках, в которых предусмотрены индивидуальные измерения электродных потенциалов металлических включений относительно хлорид-серебряного электрода сравнения, который могут расположить во рту или в руке [4]. Последний вариант нам представляется более предпочтительным, так как его проще реализовать без потери точ-

ности измерений [5]. Гораздо сложнее обеспечить «сухой» контакт электрода-щупа с металлическим включением, особенно если речь идет о сравнительно мелких элементах брекет-систем. При этом «мокрый» контакт проволочными электродами ($d=1$ мм) может внести существенные искажения в значение определяемого электрохимического потенциала. Указанные сложности, возникающие при оценке электрохимических характеристик мелкогабаритных стоматологических изделий, легче преодолеть в лабораторных условиях.

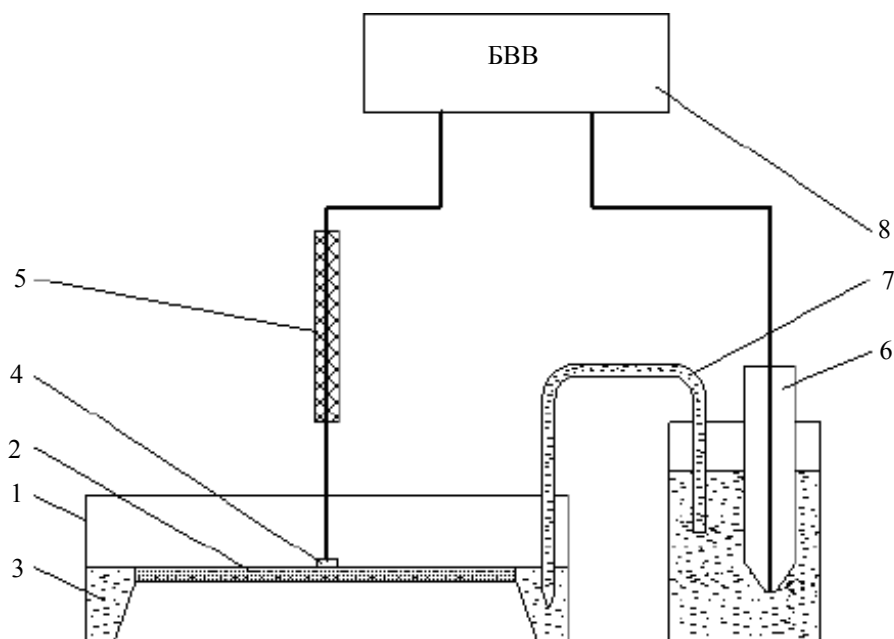
Цель настоящей работы – исследование *in vitro* электродных потенциалов металлических изделий для ортодонтического лечения, позволяющее оценивать вероятность возникновения гальванических явлений при их использовании.

Материал и методика проведения экспериментов

На исследование были предоставлены 4 вида реальных ортодонтических изделий: брекет-системы самолигируемые с никель-титановыми клипсами, ретейнеры (сталь 304), индивидуальные кольца с проволочными распорками (X18H9T) и брекет-системы стандартного лигирования (сталь 304).

Электродные потенциалы измеряли по специально разработанной методике, схема которой представлена на рисунке. На дно плоского стеклянного сосуда (1) укладывали искусственную замшу (2) (или другой пористый материал) и заливали раствором электролита (3) не выше толщины ткани. На поверхность смоченной замши устанавливали стоматологическое изделие (4), к внешней стороне которого подвели контактный игольчатый электрод (5). Хлорид-серебряный электрод сравнения (6) через капилляр Луггина (7) устанавливали в кольцевое углубление сосуда. Измерение потенциалов в нашем случае проводили с помощью блока высокоомного вольтметра (8) потенциостата ПИ-50-11. Для подобных измерений можно использовать любые модификации этих приборов с внутренним сопротивлением 10^9 – 10^{10} Ом.

Разработанная система позволяет осуществить тонкоплёночное смачивание стоматологических изделий, что приближается к естественным условиям их эксплуатации в полости рта. Другое преимущество схемы –



Принципиальная схема измерения электрохимических потенциалов элементов брекет-систем

простота реализации и возможность оценки потенциалов очень мелких (2–3 мм) изделий, в том числе различных участков их поверхности путем переворачивания на 90 и 180°.

Перед измерениями поверхность образцов протирали щеточкой с порошком из пищевой соды (имитация чистки зубов) с последующей промывкой водопроводной водой и сушкой фильтровальной бумагой.

В качестве модельных сред использовали растворы, традиционно рекомендованные медицинскими методиками для подобных исследований: 3%-ный раствор хлорида натрия (рН=6,8), 2%-ный раствор лимонной кислоты (рН=0,5) и 2%-ный раствор пищевой соды (рН=8,65), что характеризовало соответственно нейтральную, кислую и слабощелочную среды.

Выдержка экспериментальных образцов в модельных растворах продолжалась в течение 5 минут. К этому времени наблюдалось значительное уменьшение скорости их изменения, как правило, в положительную область, что позволяло с небольшой погрешностью принимать достигнутые значения потенциалов за установившиеся.

Результаты и их обсуждение

Поскольку потенциалы измеряли непосредственно на ортодонтических изделиях, их значения не усреднялись, а представлены в

виде диапазона величин, зафиксированных для трех образцов каждого вида изделий (таблица), что позволяет оценивать разность потенциалов, которая может возникать между идентичными элементами брекет-систем.

Из анализа результатов следует, что наиболее существенное различие значений электрохимических потенциалов для каждой группы изделий наблюдается в зависимости от состава модельной среды, а точнее от ее рН – показателя кислотности. Данная ситуация вписывается в теорию электрохимической коррозии Эванса, согласно которой стационарный потенциал коррозии (чем и есть по сути измеряемый электрохимический потенциал ортодонтических изделий) в данных случаях зависит от рН среды – чем меньше рН, тем положительнее значение у потенциала. Именно поэтому нельзя сравнивать коррозионную стойкость металлических включений по значениям потенциалов, измеренных в средах с различным рН. В процессе измерения потенциалов было установлено, что практически во всех средах после предварительной протирки поверхности кашицей («чистки зубов») в течение 5 минут происходит репассивация – восстановление окисной пленки, о чем свидетельствует «облагораживание» – монотонный сдвиг значений потенциалов в положительную область. Исклю-

Значения электрохимических потенциалов в модельных средах

Стоматологические изделия	Материал	Диапазон измеренных значений, Е, В			Состояние поверхности
		3%-ный раствор NaCl	2%-ный раствор лимонной кислоты	2%-ный раствор соды (NaHCO ₃)	
Брекеты самолигируемые с Ni-Ti клипсами, на стороне лицевой обратной	Ni-Ti, сталь 304	-0,015...-0,034	-0,060...-0,067	-0,077...-0,107	Полированная Матовая
		-0,035...-0,095	-0,027...-0,033	-0,017...-0,068	
Ретейнер	Сталь 304	-0,032...-0,056	-0,037...0,064	-0,093...-0,105	Полированная
Индивидуальное кольцо с распоркой кольцо (коронка) распорка (пружина)	X18H9T	-0,015...-0,043	-0,004...0,037	-0,089...-0,104	Полированная Матовая
		-0,078...-0,095	-0,027...0,088	-0,106...-0,151	
Брекеты стандартного лигирования, на стороне лицевой обратной	Сталь 304	-0,042...-0,065	0,057...0,067	-0,112...-0,120	Полированная Полированная
		-0,050...-0,060	0,067...0,075	-0,108...-0,117	

чение в виде осцилляций (колебаний) значений потенциалов – «разблагораживание» – «облагораживание» – наблюдалось в 3%-ном растворе хлорида натрия, и особенно заметно проявлялось в конструкции индивидуальное кольцо с распоркой.

Осцилляция потенциалов в хлоридах связана с явлениями кратковременного разрушения пленки (в этот момент потенциал уходит в сторону отрицательных значений) и последующего восстановления оксидного слоя. Агрессивное действие Cl⁻ – ионов, которые пробивают защитную пленку на металле, – может в конечном счете вызвать его точечную, или питтинговую коррозию. Этому явлению подвержены нержавеющие стали, в том числе исследуемые в настоящей работе. Вероятность и частота его возникновения зависит от состояния поверхности. В частности, кольцо с распоркой из стали X18H9T имеет острые резаные края, кроме того, после штамповки оно может находиться под действием растягивающих напряжений. Все эти факторы отрицательно влияют на качество защитной пассивной пленки. В равной степени сказанное относится и к распорке-пружине из проволоочного материала, полученного методом протяжки. Необходимо отметить, что электрохимический потенциал распорки во всех растворах является более отрицательным, а значит, она служит анодом в гальванопаре по отношению к потенциалу кольца. Кроме того,

распорка кольца является анодом и по отношению к другим изделиям (или частям их поверхностей). Однако разность потенциалов, которая может возникнуть в нейтральном растворе хлорида натрия или слабощелочной среде пищевой соды, не превышает 80 мВ и согласно систематизации проявлений гальваноза полости рта, разработанной в исследованиях [6], такая разность допустима при совместном применении разных сплавов (или изделий), вероятность развития гальваноза при этом отсутствует.

Самая опасная ситуация с точки зрения вероятности возникновения эффективной гальванопары появляется только в кислой среде – растворе лимонной кислоты. Худший вариант – это сочетания брекетов стандартного лигирования и распорки индивидуального кольца, в результате чего генерируется электродвижущая сила порядка 160 мВ. Исходя из выводов автора [6], при таких величинах вероятность возникновения гальваноза наиболее высока. Правда, нужно отметить, что кислая среда (pH=0,5) все-таки не характеризует постоянный состав жидкости в полости рта, но ее следует учитывать как кратковременное явление.

Сравнив значения электрохимических потенциалов ортодонтических изделий в каждом из растворов, мы смогли оценить идентичность их поверхностного состояния. Очевидно, что наиболее однородным в этом смы-

сле являются брекеты стандартного лигирования – разброс потенциалов у них минимален во всех средах как между отдельными образцами, так и между разными сторонами поверхности на каждом из них. Собственно, такой результат можно было предвидеть, поскольку данные изделия получают методом прецизионного литья с минимальными внутренними напряжениями и равномерно блестящей поверхностью.

Выводы

Разработанная методика позволяет повысить объективность результатов измерения электрохимических потенциалов непосредственно на стоматологических изделиях, в том числе и на мелкогабаритных, а также оценить электрохимическую «неоднородность» отдельных металлических конструкций.

Установлено, что рассмотренные (исследуемые) элементы брекет-систем характеризуются близкими значениями электрохимических потенциалов в нейтральных и слабощелочных средах, а следовательно, при отсутствии других металлических включений в

полости рта могут совместно применяться без риска развития гальваноза.

Наиболее неоднородной конструкцией с точки зрения электрохимической активности является индивидуальное кольцо с распоркой, в которой разность потенциалов между кольцом и распоркой в кислой среде составляет более 120 мВ, что служит предпосылкой увеличения вероятности возникновения гальваноза. При одновременном использовании других элементов, в частности брекетов стандартного лигирования, значения электродвижущей силы могут возрасти до 160 мВ.

Перспективность использования

Предложенная методика исследования электрохимических потенциалов ортодонтических изделий может быть использована на предварительном этапе лечения – оценки вероятности развития гальваноза у конкретных пациентов при наличии у них уже имеющихся во рту металлических включений, например, во время планирования раннего ортодонтического лечения с использованием частичной брекет-системы при наличии индивидуальных колец с распоркой.

Список литературы

1. Ящиковский Н. В. Влияние технологических факторов на коррозионно-электрохимические процессы, проходящие на поверхности стоматологических сплавов 1X18H9T / Н. В. Ящиковский, Л. С. Величко, А. И. Кулак // Современная стоматология. – 2007. – № 2. – С. 67–70.
2. Щеголева М. Г. Электрохимические процессы в полости рта пациентов / М. Г. Щеголева // Медичні науки. Scientific Journal «Science Rise». – 2015. – № 12/3 (17). – С. 72–76.
3. Величко Л. С. Заболевания, обусловленные материалами зубных протезов / Л. С. Величко, Н. В. Ящиковский // Медицинский журнал. – 2010. – № 2. – С. 38–44.
4. Омеляненко Н. Д. Измерение сопротивлений тканей полости рта: особенности, последовательность, незамеченные ошибки / Н. Д. Омеляненко, Д. К. Гуца // Современная стоматология. – 2009. – № 4. – С. 22.
5. Деклараційний патент на винахід № 55906 А, Україна, МПК 7 А61В10/00, А61С5/08. Спосіб діагностики гальванозів / Куцевляк В. Ф., Севидова О. К., Щегольова М. Г., Васильченко О. В. – № 2002076060 ; заявл. 22.07.02 ; опубл. 15.04.03, Бюл. № 4.
6. Жидовинов А. В. Обоснование применения клинично-лабораторных методов диагностики и профилактики гальваноза полости рта у пациентов с металлическими зубными протезами : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук : спец. 14.01.14 «Стоматология» / А. В. Жидовинов. – Волгоград, 2013. – 22 с.
7. Тимофеев А. А. Показатели потенциометрии и неспецифической резистентности организма у пациентов с металлическими включениями в полости рта, фиксированными на дентальных имплантатах и зубах / А. А. Тимофеев // Современная стоматология. – 2005. – № 4. – С. 133–138.
8. Коррозия металлов полости рта как фактор развития гальваноза / Ф. В. Михальченко, А. В. Жидовинов, Л. И. Денисенко [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 43. – Режим доступа к журн. :
URL:<http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17564> (дата обращения 30.01.16).

References

1. Yashchikovskii N.V., Velichko L.S., Kulak A.I. (2007). Vliianiie tekhnologicheskikh faktorov na korrozionno-elektrokhimicheskie protsessy, prokhodiashchiie na poverkhnosti stomatologicheskikh splavov 1Kh18N9T [Influence of technological factors on corrosion-electrochemical processes passing on the surface of dental alloys 1X18N9T]. *Sovremennaiia stomatolohiia – Modern Dentistry*, № 2, pp. 67–70 [in Russian].
2. Shchegoleva M.H. (2015). Elektrokhimicheskie protsessy v polosti rta patsientov [Electrochemical processes in the oral cavity of patients]. *Medychni nauky. Scientific Journal «Science Rise» – Medical Sciences. Scientific Journal «Science Rise»*, № 12/3 (17), pp. 72–76 [in Russian].
3. Velichko L.S., Yashchikovskii N.V. (2010). Zabolevaniia, obuslovlennye materialami zubnykh protezov [Diseases caused by materials of dentures]. *Meditinskii zhurnal – Medical Journal*, № 2, pp. 38–44 [in Russian].
4. Omelianenko N.D., Hushcha D.K. (2009). Izmereniie soprotivlenii tkanei polosti rta: osobennosti, posledovatelnost, nezamechennyye oshibki [Measurement of the resistance of the tissues of the oral cavity: features, sequence, undetected errors]. *Sovremennaiia stomatolohiia – Modern Dentistry*, № 4, pp. 22 [in Russian].
5. Kutsevliak V.F., Sevydova O.K., Shchegolova M.H., Vasylchenko O.V. (2003). *Sposib diahnostryky halvanoziv. Deklaratsiini patent na vinakhid № 55906 A, Ukraina, MPK 7 A61V10/00, A61S5/08 [Method of diagnosis of galvanoses. Declarative patent for invention № 55906 A, Ukraine, IPC 7 A61B10/00, A61C5/08]. № 2002076060, declared 22.07.02, published 15.04.03, bulletin № 4 [in Ukrainian].*
6. Zhidovinov A.V. (2013). Obosnovaniie primeneniia kliniko-laboratorynykh metodov diahnostiki i profilaktiki halvanoza polosti rta u patsientov s metallicheskimy zubnymi protezami [Substantiation of clinical and laboratory methods of diagnostics and prevention of oral galvanosis in patients with metal dentures]. *Extended abstract of candidate's thesis. Volgograd*, 22 p. [in Russian].
7. Timofeiev A.A. (2005). Pokazateli potentsiometrii i nespetsificheskoi rezistentnosti orhanizma u patsientov s metallicheskimy vklucheniiami v polosti rta, fiksirovannymi na dentalnykh implantatakh i zubakh [Indicators of potentiometry and nonspecific resistance of the organism in patients with metallic inclusions in the oral cavity, fixed on dental implants and teeth]. *Sovremennaiia stomatolohiia – Modern Dentistry*, № 4, pp. 133–138 [in Russian].
8. Mikhalchenko F.V., Zhidovinov A.V., Denisenko L.I., Holovchenko S.H., Matveiev S.V. (2015). Korroziia metallov polosti rta kak faktor razvitiia halvanoza [Corrosion of oral metals as a factor in the development of galvanization]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniia – Modern Problems of Science and Education*, № 3, pp. 43 [in Russian]. Retrieved from URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=17564>. (date of the application 30.01.16).

О.К. Севидова, І.І. Степанова, М.Г. Щегольова, Т.Г. Кролівець

ДОСЛІДЖЕННЯ *IN VITRO* ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ОРТОДОНТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ЕЛЕМЕНТІВ БРЕКЕТ-СИСТЕМ

Одним з головних недоліків довгострокового використання у порожнині рота різноманітних металевих конструкцій і пристосувань при ортодонтичному лікуванні зубощелепних аномалій та деформацій у дітей і підлітків є прояв металами електрохімічних властивостей і участь в електрохімічних процесах, які можуть перебігати у порожнині рота і викликати гальванози. В ході даної роботи розроблено методику вимірювання електрохімічних потенціалів металевих виробів для ортодонтичного лікування, у тому числі й малорозмірних, яка дозволяє підвищити об'єктивність результатів вимірювань, а також оцінити електрохімічну «неоднорідність» окремих металевих конструкцій. Проведено дослідження чотирьох видів реальних ортодонтичних виробів: брекетів самолігуючих з нікель-титановими кліпсами, ретейнерів (сталь 304), індивідуальних кілець з дротяними розпірками (X18N9T) і брекетів стандартного лігування (сталь 304). Встановлено, які ортодонтичні вироби мають мінімальний ризик розвитку гальванозу, а які є найбільш неоднорідними з точки зору електрохімічної активності. Запропонована методика дослідження електрохімічних потенціалів ортодонтичних виробів може бути використана на попередньому етапі лікування для оцінювання ймовірності розвитку гальванозу у пацієнтів.

Ключові слова: ортодонтичні вироби, гальваноз, електрохімічні потенціали, брекети, ортодонтичні кільця, ретейнери.

Ye.K. Sevidova, I.I. Stepanova, M.G. Shchepochieva, T.G. Krolivets

STUDY OF ELECTROCHEMICAL POTENTIALS OF ORTHODONTIC ELEMENTS AND ELEMENTS OF BRACKET SYSTEMS IN VITRO

One of the main disadvantages of long-term use of various metal structures and devices for orthodontic treatment of dentoalveolar anomalies and deformations in children and adolescents is the manifestation of electrochemical properties by metals and participation in electrochemical processes that can occur in the oral cavity and cause galvanizing. In the research we have developed a technique for measuring the electrochemical potentials of metal products used for orthodontic treatment, including small-sized ones, which makes it possible to increase the objectivity of measurement results, and also to evaluate the electrochemical «heterogeneity» of each metal structures. Four types of real orthodontic products have been examined. There were self-ligating braces with nickel-titanium clips, retainers (steel 304), individual rings with wire spacers (12X18H9T) and standard ligation braces (steel 304). It is determined, which orthodontic products possess a minimal risk of galvanic complications, and which are the most heterogeneous in terms of electrochemical activity. The proposed technique for examination of the electrochemical potentials of orthodontic products can be used in the preliminary stage of treatment to assess the expectance of galvanic complications in patients.

Keywords: *orthodontic products, galvanization, electrochemical potentials, braces, orthodontic rings, retainers.*

Надійшла 15.08.17

Відомості про авторів

Севи́дова Олена Костянти́нівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. Семка Михайла Федоровича НТУ «ХП».

Адреса: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».

Тел.: +38(057)707-61-85.

E-mail: sevidova.1954@mail.ru.

Степа́нова Ірина Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії НТУ «ХП».

Тел.: +38(057)707-68-32.

Щегольова Марія Георгіївна – кандидат медичних наук, доцент кафедри стоматології дитячого віку, ортодонції та імплантології ХМАПО.

Адреса: 61013, м. Харків, вул. Шевченка, 133, КНП «Міська дитяча поліклініка № 23» Харківської міської ради.

Тел.: +38(098)272-49-40.

Кро́лівець Тетяна Григо́рівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри стоматології дитячого віку, ортодонції та імплантології ХМАПО.

Адреса: 61013, м. Харків, вул. Шевченка, 133, КНП «Міська дитяча поліклініка № 23» Харківської міської ради.

Тел.: +38(067)793-64-63.

E-mail: krolivets_t@yahoo.com.