


АВТОМАТТАНДЫРУ, ТЕЛЕМЕХАНИКА, БАЙЛАНЫС, КОМПЬЮТЕРЛІК  
ҒЫЛЫМДАР  
AUTOMATION, TELEMCHANICS, COMMUNICATIONS, COMPUTER SCIENCE  
АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕЛЕМЕХАНИКА, СВЯЗЬ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

GTAMP 28.23.27

DOI 10.52167/1609-1817-2023-128-5-110-118

А.Б. Калиева<sup>1</sup>, И.Б.Карымсакова<sup>1</sup>, Б.Д.Бекенова<sup>2</sup> ,  
Н.К.Курмангалиева<sup>3</sup>, Л.М.Абдибекова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Shakarim University, Семей, Қазақстан

<sup>2</sup> Turan-Astana University, Астана, Қазақстан

<sup>3</sup> Alikhan Bokeikhan University, Семей, Қазақстан

<sup>4</sup> Esil University, Астана, Қазақстан

E-mail: aliyabekenqyzy@gmail.com

ЭНДОПРОТЕЗДЕРДІ БҮРКУ ҮШІН ТРАЕКТОРИЯЛАРДЫ МОДЕЛЬДЕУДІҢ  
АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚҰРУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Андатпа.** Мақалада роботты кешеннің көмегімен эндопротездерді кейіннен микроплазмалық бүрку үшін траекторияларды модельдеудің ақпараттық технологиясын құру ерекшеліктерін сипаттау мақсаты қойылған. Зерттеу нәтижелері эндопротездерді бүрку кезінде роботтың қозғалысын одан әрі құру әдістерін практикалық қолдануға бағытталған. Үшінші және төртінші ретті эрмит сплайндарын қолданатын ұсынылған тәсіл қозғалыс жылдамдығын ескере отырып, қозғалыс траекториясын құруға мүмкіндік береді. Матлаб ортасында Эрмиттің үшінші және төртінші ретті сплайндары үшін траекториялар салынды. Роботтың көмегімен эндопротездерді микроплазмалық бүрку үшін траекторияларды модельдеудің ақпараттық жүйесінің прототипі ұсынылды.

**Түйінді сөздер.** Эрмит сплайн, бағдарламалық траектория, функцияның тегістігі, интерполяция, траектория құрылысы, ақпараттық жүйе.

**Кіріспе.**

Титаннан жасалған эндопротездерді микроплазмалық бүркеуде роботтарды қолдану маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Осы күнде толығымен адамның қол-аяқтарының функцияларын орындай алатын манипулятор құру есебі шешілген жоқ.

Эндопротездерді шығару ең күрделі мәселелердің бірі болып табылады. Ол эндопротездер толықтай адамның ағзасымен үйлесімді болу керек. Жоғары дәлдікпен құрылған эндопротездерді алу үшін роботталған жүйелер қолданылады.

Әдебиеттерге шолу. Эндпротез – адамның зақым келтірілген ағзаларын алмастыру үшін арналған бұйымдар.

Эндопротездердың бар классификациялары талданды.

Иманбаева М.Б., Зуби Ю.Х., Избасканова А.С. жұмысында эндопротездер құрамдас элементтерінің үйкелесу парасы бойынша классификацияланған.

Джаксыбаев М.Н., Жумагулов М.О. жұмысында құрамдас элементтердің конструкциясы бойынша классификацияланған.

Вильямс Д., Роуф Р. жұмысында эндопротездер құрамы және құрылымы, қызмет ету ұзақтығы, ағзаға еңгізу тереңдігі бойынша классификацияланған.

Кирпичев И.В., Алиев А.Г., Коваленко А.Н., Амбросенков А.В. жұмысында эндопротездер компоненттер саны бойынша классификацияланған.

Миронов Р.А., Османов А.М., Устазов К.А., Асламханов С.Р. жұмысында эндопротездер конструкция принципіне қарай классификацияланған.

Чирков Н.Н., Николаев Н.С., Горбатов Р.О., Клеменова И.А., Новиков А.В., Зиновьев С.В., Казаков А.А. еңбегінде эндопротездер бекіту әдісі, құрылымы бойынша классификацияланған.

Нехлопочин С. Н., Нехлопочин А. С., Швец А. И. еңбегінде эндопротездер элементтер құрылымы бойынша классификацияланған.

Адамова А.А., Шведова А.Г., Чудовский И.В. эндопротездер әртүрлі сипаттамалары бойынша классификацияланған: қолдану саласы, ағзаға бекіту әдістері бойынша классификацияланған [1-3].

### Материалдар мен тәсілдер.

Эндопротездерді роботталған кешен көмегімен микроплазмалық бүркеу үшін траекторияларды модельдеудің ақпараттық технологиясын құру процессы бірнеше этаптардан тұрады:

- 1- кезең: бүркеу объектілерін классификациялау;
- 2- кезең: робот қозғалысының траекториясын математикалық модельдеудің әдістерін талдау;
- 3- кезең: математикалық модельді құру;
- 4- кезең: ақпараттық жүйе сәулетін құру;
- 5- кезең: робот қозғалысын құратын симуляторға алгоритмдер және бағдарламалық кодты құру.

Әрбір кезеңді қарастырайық.

1-кезең- Классификация.

Роботтар көмегімен эндопротездерді бүркеу үшін оларды классификациялау керек. Ол үшін алдымен әртүрлі классификациялар талданды (кесте 1).

Классификациялау – элементтерді қандай да бір белгілері бойынша әртүрлі кластарға жатқызу бойынша оңтайландыру есебі.

1 кесте –Эндопротездердың әртүрлі классификациялары

№	Классификация түрі
1	Үйкелесу жұбы бойынша
2	Құрылым бойынша
3	Құрам бойынша
4	Компоненттер саны бойынша
5	Бекіту әдісі бойынша
6	Қолдану саласы бойынша
7	Ағзаға бекіту әдісі бойынша
8	Қолдану уақыты бойынша
9	Ағзаға еңгізу тереңдігі бойынша

Бүркеу траекториясын оңтайландыру үшін эндопротездерді классификациялаудың параметрлік әдісін қолдану тиімді болады (2 кесте).

1-класс: бүркеудің шекті параметрлерін оптималды қанағаттандыратын эндопротездер;

2-класс: бүркеудің шекті параметрлерін қанағаттандыратын эндопротездер;

3-класс: бүркеудің шекті параметрлерін қанағаттандырмайтын эндопротездер;

2 кесте – Классификациялаудың параметрлік әдісі

Класс	Класстар бойынша параметрлер мәндері (мм)										
	Ұзындығы	Диаметр	Ені	Доға ұзындығы	Қысу ұзындығы	Қысу диаметрі	Тіктөртбұрыш ұзындығы	Биіктігі	Проксималды сабақ ұзындығы	Дистальды сабақ ұзындығы	Сабақ диаметрі
1	150-400	15-35	30-50	50-70	160-200	10-20	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20
2	15-150	5-15	5-30	10-50	10-160	5-10	10-15	10-15	10-15	10-15	10-15
3	0-15	0-5	0-5	0-10	0-10	0-5	0-10	0-10	0-10	0-10	0-10

Эндопротездерді параметрлік әдіс бойынша классификациялау нәтижесінде келесі класстар аламыз:

1-класс: жамбас эндопротезы, тізе эндопротезы, иық эндопротезы, шынтақ эндопротезы, тобық эндопротезы;

2-класс: білек эндопротезы, қол саусақтарының фаланга аралық буыны эндопротезы, қол саусақтарының метакарпофалангальды буыны эндопротезы, омыртқалы имплант, аяқ эндопротезы;

3-класс: мұрынның шеміршегінің импланты, тіс импланттары, кохлеарлық имплант, жүрек клапан импланты, қарашық импланты, мойын импланты.

2-кезең - робот қозғалысының траекториясын математикалық модельдеудің әдістерін талдау. Бүркеу кезіндегі робот қозғалысының математикалық моделін құру үшін қозғалыс траекториясын құру әдісін таңдау керек. Ол үшін бар әдістер талданды (3 кесте).

3 кесте – Қозғалыс траекториясын құру әдістері

№	Қозғалыс траекториясын құру әдістері	Артықшылықтары	Кемшіліктері
1	Полиномдар көмегімен интерполяциялау	Роботтың қолын икемді қозғалту	Екінші ретті туындының үздіксіздік қасиеті орындалмайды
2	Байланысты графтар әдісі	Ұстау координаталарын түрлендіру	Екінші ретті туындының үздіксіздік қасиеті орындалмайды
3	Үшінші және төртінші ретті полиномдармен интерполяциялау	Роботтың қолын икемді қозғалту	
4	Лагранж-Эйлер моделін қолданып интерполяциялау	Роботтың қолын икемді қозғалту	Екінші ретті туындының үздіксіздік қасиеті орындалмайды
5	Қозғалысты берудің мультиграф концепциясы	Бұрыштар кеңістігін детерминистік дискреттеу	Мультиграфтың көрші элементтерінің тұрақты емес құрылымы
6	Интегралды көптік әдістері	Оңтайлы траектория бойынша қозғалыс	
7	Траекторияның графын генерациялау әдісі	Роботтың қолын икемді қозғалту	Екінші ретті туындының үздіксіздік қасиеті орындалмайды

Талдау нәтижесінде манипуляциялық роботтың траекториясын құру кезінде функцияның майдалылығы және екінші туынды үздіксіздігі қасиеттері маңызды екенін анықтадық. Біздің эндопротездер кластары үшін сплайндар әдісі қолданылады.

Қозғалыс траекториясын модельдеу үшін алдымен эндопротездің 3D моделін құру керек.

3D модельдерді құру әдістері келесі: 3D сканерлеу, автоматтандырылған жобалау жүйелерінде модельді құру, фотограмметрия [4-9].

3-кезең – Бүркеу траекториясын математикалық модельдеу.

Механикалық қозғалыстарды интерполяциялау үшін сплайндар қолданылады.

$$q_i(t) = \sum_{l=0}^3 a_i^{(l)} (t_{i+1} - t)^l, \quad (1)$$

мұнда  $t$ -уақыт интервалдары,  $q_i(t)$  - полином.

(2) шарттарды қанағаттандыратын сплайндар Эрмит сплайндары д.а.

$$\begin{aligned} q_i(t_i) &= \theta_i; \quad q_i(t_{i+1}) = \theta_{i+1}; \\ \dot{q}_i(t_i) &= v_i; \quad \dot{q}_i(t_{i+1}) = v_{i+1}, \quad i = \overline{1, n-1} \end{aligned} \quad (2)^*$$

мұнда  $q_i(t)$  – полином,  $\theta(t_i) = \theta_i$  - жалпыланған координаталар,  $v_i = v(t_i)$  - өту жылдамдығы [10, 11].

Эндопротездерді бүркеу процесін клесідей анықтауға болады:

- 1- эндопротездер мәліметтер қорын құру;
- 2- эндопротездің 3 д моделін құру;
- 3- қозғалыс траекториясын модельдеу;
- 4- қозғалысты симуляторда құру;
- 5- нақты роботта бүркеу.

Бүркеу параметрлерін келесідей аламыз:

$d=2,5$  мм

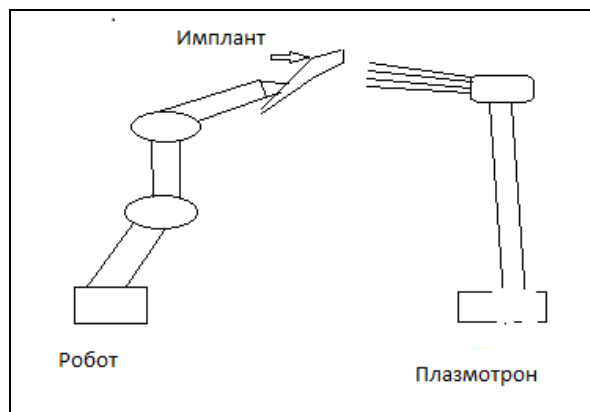
$v=10$  мм/с

$S=150$  мм

$t=15$  с.

Бүркеу процессы

Эндопротез робот қолына орнатылады және роботпен траектория бойына тізбекті қозғалады (1 сурет).



1 сурет – Эндопротезді бүркеу схемасы

Робот қозғалысының математикалық моделін Эрмиттың үшінші және төртінші ретті сплайндары көмегімен құрамыз [12-15].

Нәтижелер мен талқылаулар.

Берілген үшінші және төртінші ретті модельдер бойынша қозғалыс траекториялары модельденді және әрбір модель үшін ауытқулар анықталды (4 кесте)

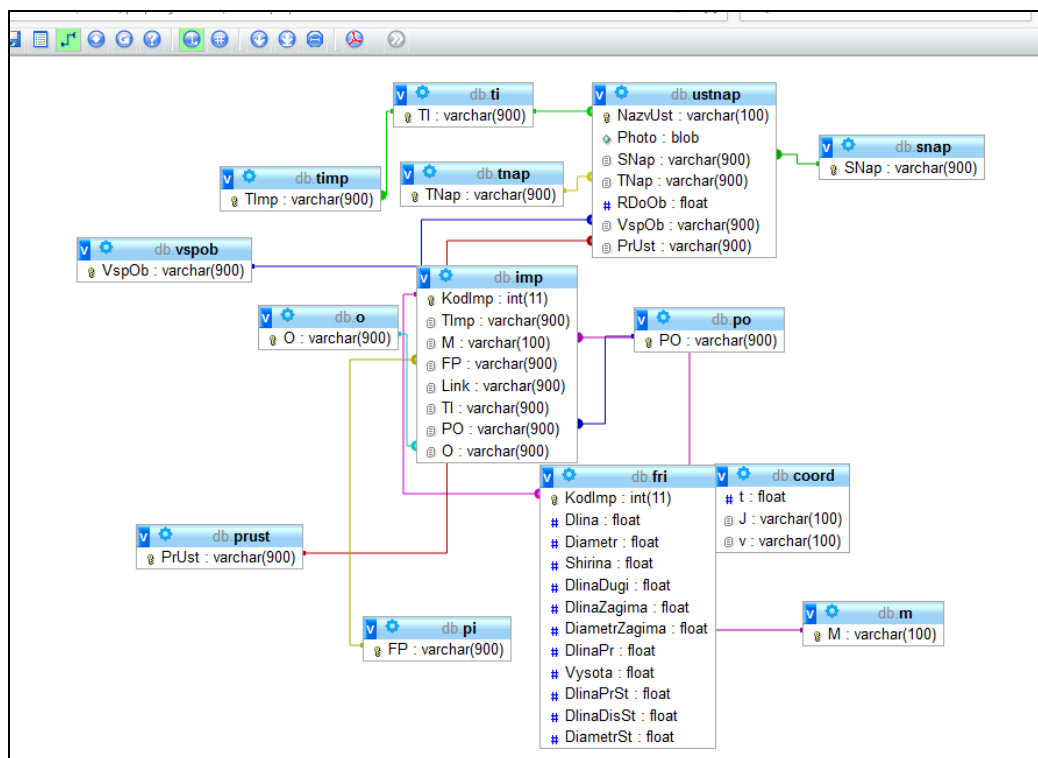
4 кесте - Модельдеудің ауытқуларын талдау

Класс	Бүркеу траекториясын модельдеу			
	Типі	3-ретті ауытқу	4-ретті ауытқы	Қорытынды
1-класс	Жамбас эндопротезы	0,05	0,04	Эрмиттың 4-ретті интерполянты қолданғанда жуықтау ауытқуы аз
	Төменгі аяқ эндопротезы	0,047	0,038	Эрмиттың 4-ретті интерполянты қолданғанда жуықтау ауытқуы аз
	Иық эндопротезы	0,044	0,038	Эрмиттың 4-ретті интерполянты қолданғанда жуықтау ауытқуы аз
2-класс	Омыртқа эндопротезы	0,046	0,039	Эрмиттың 4-ретті интерполянты қолданғанда жуықтау ауытқуы аз
	Мойын эндопротезы	0,045	0,036	Эрмиттың 4-ретті интерполянты қолданғанда жуықтау ауытқуы аз
	Қол саусақтары эндопротезы	0,047	0,039	Эрмиттың 4-ретті интерполянты қолданғанда жуықтау ауытқуы аз

4-кезең.

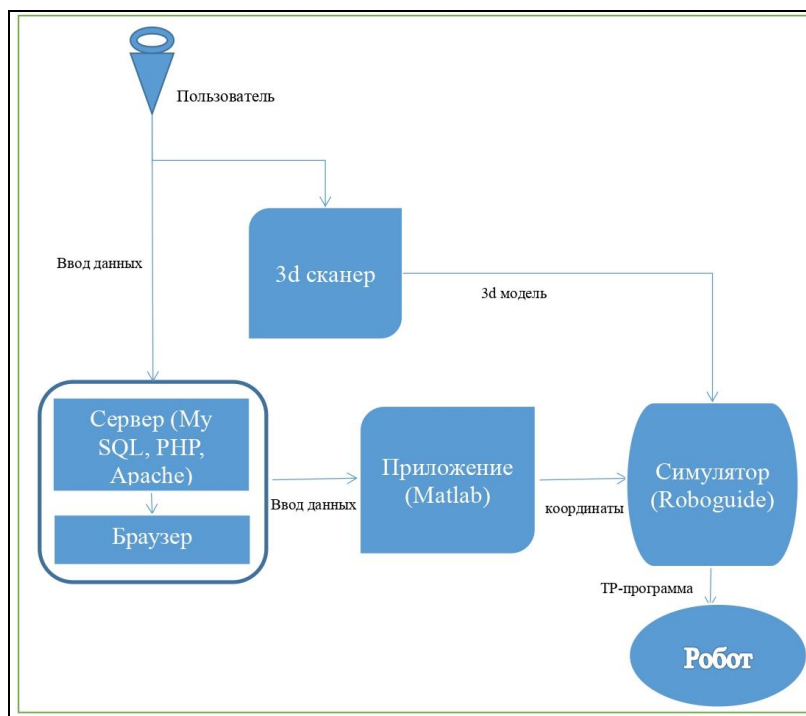
Математикалық модель құрғаннан кейін ақпараттық жүйенің инфологиялық моделін, сәулетін құру керек.

Ақпараттық жүйенің ұсынылатын инфологиялық моделі 2-суретте келтірілген:



2-сурет – Инфологиялық модель

Ақпараттық жүйенің ұсынылатын сәулеті 3-суретте келтірілген:



3 сурет – Ақпараттық жүйе сәулеті

5-кезең.

Эндопротездерды бүркеу үшін симуляторда робот қозғалысын құру алгоритмі келесідей болады:

- 1- робот моделін таңдау;
- 2- робот параметрлерін орнату;
- 3- эндопротез 3д моделін импорттау;
- 4- модельдің қасиеттерін баптау;
- 5- қозғалыс позицияларын беру;
- 6- қозғалыс программасын генерациялау.

Осы алгоритм бойынша алғашқы 2 класстан таңдалып алынған эндопротездерге бүркеу үшін робот қозғалысы траекториясы құрылды.

### Қорытынды.

Бұл мақалада эндопротездер классификациялары талданды, эндопротездерды бүркеу үшін Эрмиттың үшінші және төртінші ретті модельдері бойынша қозғалыс траекториясы құрылды. Берілген модель бойынша қозғалысты құрудың ақпараттық технология прототипі ұсынылды.

### ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Иманбаева М.Б., Зуби Ю.Х., Избасканова А.С. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава с керамика-керамической парой трения в отдаленном периоде наблюдения от 5 до 10 лет. Вестник КазНМУ, №2-2015

[2] Джаксыбаев М.Н., Жумагулов М.О. Оперативное лечение тазобедренных и коленных суставов у пациентов страдающих сахарным диабетом, Вестник КазНМУ, №3-1-2016

- [3] Кирпичев И.В. Структура коксартроза в различных возрастных группах у больных, нуждающихся в первичном эндопротезировании тазобедренного сустава. Журнал Современные проблемы науки и образования. - Москва, №3-2015
- [4] Завьялов У.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн- функций. - М., Наука, 1980
- [5] Кириченко Н.Ф., Сорока Р.А., Крак Ю.В. «Манипуляционные роботы. Алгоритмическое и программное обеспечение средств управления движением», учебное пособие. - Киев КГУ, 1987
- [6] Интерполяция. 20.08.2020. URL: <https://refdb.ru/look/1629442-pall.html>
- [7] Золотых Н.Ю. Matlab в научных исследованиях. - Нижегородск, 2004
- [8] Методы интерполяции в Матлаб. 15.05.2020. URL: <http://geum.ru/next/art-295114.php>
- [9] Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denisova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
- [10] Karymsakova I.B, Denisova N.F, Kumargazhanova S.K, Krak Iu. V. Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions, International Journal of Computing, 19(2) 2020, 1-2
- [11] Карымсакова И.Б., Денисова Н.Ф., Крак Ю.В. Усовершенствование методов построения систем создания имплантов с использованием современных производственных решений // Международная научная конференция «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI'2017)». 22–26 мая 2017. Материалы международной научной конференции. – Запорожский порт. Украина. - Херсон: Издательство ПП Вишемирський В.С., 2017. – С. 69-70.
- [12] Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denisova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
- [13] Решение математических задач в системе компьютерной математики в пакете Matlab. 04.11.2022. . URL: <https://sites.google.com/site/vpaketematlab/3-realizacia-cislennyh-metodov/03-3-realizacia-splajnov-v-matlab>
- [14] Сплайны. 04.11.2022. . URL:<https://ozlib.com/823878/informatika/splajny>
- [15] Эрмитовая многоинтервальная интерполяция MatLab. 04.11.2022. URL: <https://radiomaster.ru/cad/matlab/glava17/index36.php>

## REFERENCES\*

- [1] Imanbaeva M.B., Zubi Ju.H., Izbaskanova A.S. Total'noe jendoprotezirovanie tazobedrennogo sustava s keramika-keramicheskoy paroj trenija v otdalennom periode nabljudenija ot 5 do 10 let. Vestnik KazNMU, №2-2015
- [2] Dzhaksybaev M.N., Zhumagulov M.O. Operativnoe lechenie tazobedrennyh i kolennyh sustavov u pacientov stradajushhih saharnym diabetom, Vestnik KazNMU, №3-1-2016
- [3] Kirpichev I.V. Struktura koksartroza v razlichnyh vozrastnyh gruppah u bol'nyh, nuzhdajushhihsja v pervichnom jendoprotezirovanii tazobedrennogo sustava. Zhurnal Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. - Moskva, №3-2015
- [4] Zav'jalov U.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L. Metody splajn- funkcij. - М., Наука, 1980
- [5] Kirichenko N.F., Soroka R.A., Krak Ju.V. «Manipuljacionnye roboty. Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie sredstv upravlenija dvizheniem», uchebnoe posobie. - Kiev KGU, 1987
- [6] Interpoljacija. 20.08.2020. URL: <https://refdb.ru/look/1629442-pall.html>

- [7] Zolotyh N.Ju. Matlab v nauchnyh issledovaniyah. - Nizhegorodsk, 2004
- [8] Metody interpoljicii v Matlab. 15.05.2020. URL: <http://geum.ru/next/art-295114.php>
- [9] Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
- [10] Karymsakova I.B., Denissova N.F., Kumargazhanova S.K., Krak Iu. V. Robotic plasma spraying system for implants of complex structure: methods and solutions, International Journal of Computing, 19(2) 2020, 1-2
- [11] Karymsakova I.B., Denisova N.F., Krak Ju.V. Uovershenstvovanie metodov postroenija sistem sozdaniya implantov s ispol'zovaniem sovremennyh proizvodstvennyh reshenij // Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Intel'ktual'nye sistemy prinjatija reshenij i problemy vychislitel'nogo intellekta (ISDMCI'2017)». 22–26 maja 2017. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Zaliznyj port. Ukraina. - Herson: Izdatel'stvo PP Vishemirskij V.S., 2017. – S. 69-70.
- [12] Karymsakova I.B., KrakYu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. – 2017. – Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
- [13] Reshenie matematicheskikh zadach v sisteme komp'juternoj matematiki v pakete Matlab. 04.11.2022. . URL: <https://sites.google.com/site/vpaketematlab/3-realizacia-cislennyh-metodov/03-3-realizacia-splajnov-v-matlab>
- [14] Splajny. 04.11.2022. . URL:<https://ozlib.com/823878/informatika/splajny>
- [15] Jermitovaja mnogointerval'naja interpoljacija MatLab. 04.11.2022. URL: <https://radiomaster.ru/cad/matlab/glava17/index36.php>

**Aliya Kaliyeva**, doctoral student, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, [aliyabekenqyzy@gmail.com](mailto:aliyabekenqyzy@gmail.com)

**Indira Karymsakova**, PhD, acting associate, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, [indviki@mail.ru](mailto:indviki@mail.ru)

**Dariga Bekenova**, master, senior lecturer, Turan-Astana University, Astana, Kazakhstan, [dary6a@mail.ru](mailto:dary6a@mail.ru)

**Nurgul Kurmangalieva**, PhD, Alikhan Bokeikhan University, Semey, Kazakhstan, [nurgulkk62@mail.ru](mailto:nurgulkk62@mail.ru)

**Lyazzat Abdibekova**, master, senior lecturer, Esil University, Astana, Kazakhstan, [moimir.85@bk.ru](mailto:moimir.85@bk.ru)

## FEATURES OF CREATING INFORMATION TECHNOLOGY FOR MODELING TRAJECTORIES FOR SPRAYING ENDOPROSTHESES

**Abstract.** The article aims to describe the features of creating an information technology for modeling trajectories for subsequent microplasma spraying of endoprostheses using a robotic complex. The results of the research are focused on the practical use of methods for further construction of the robot movement when spraying endoprostheses. The proposed approach using Hermite splines of the third and fourth orders makes it possible to construct motion trajectories taking into account the speed of movement. Trajectories for Hermite splines of the third and fourth orders were constructed in the Matlab environment. A prototype of an information system for modeling trajectories for microplasma sputtering of endoprostheses using a robot was proposed.

**Keywords.** Hermite spline, program trajectories, smoothness of functions, interpolation, trajectory construction, information system.

**Алия Калиева**, докторант, Shakarim University, Семей, Қазақстан, aliyabekenqyzy@gmail.com

**Индира Карымсакова**, PhD, қауымдастырылған профессор м.а., Shakarim University, Семей, Қазақстан, indviki@mail.ru

**Дариға Бекенова**, магистр, аға оқытушысы, Turan-Astana University, Астана, Қазақстан, daruba@mail.ru

**Нургуль Курманғалиева**, PhD, Alikhan Bokeikhan University, Семей, Қазақстан, nurgulkk62@mail.ru

**Лязат Абдибекова**, магистр, аға оқытушысы, Esil University, Астана, Қазақстан, moimir.85@bk.ru

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ЭНДОПРОТЕЗОВ

**Аннотация.** В статье поставлена цель описания особенностей создания информационной технологии моделирования траекторий для последующего микроплазменного напыления эндопротезов при помощи роботизированного комплекса. Результаты исследований ориентированы на практическое использование методов для дальнейшего построения движения робота при напылении эндопротезов. Предлагаемый подход с использованием сплайнов Эрмита третьего и четвертого порядков позволяет построить траектории движения с учетом скорости движения. В среде Матлаб были построены траектории для сплайнов Эрмита третьего и четвертого порядков. Был предложен прототип информационной системы моделирования траекторий для микроплазменного напыления эндопротезов при помощи робота.

**Ключевые слова.** Сплайн Эрмита, программные траектории, гладкость функций, интерполирование, построение траекторий, информационная система.

\*\*\*\*\*