ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -12

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 12

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

САМ ТИЗИМЛАРИДА ҚЎЛЛАНИЛАДИГАН ГЕОМЕТРИК МОДЕЛЛАШТИРИШ МЕТОДЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ИЛМИЙ ТАҲЛИЛИЙ БАҲОСИ

Авлякулова Шоҳида Бабаджановна
Бухоро давлат техника университети "Механика ва муҳандислик графикаси" кафедраси катта ўқитувчиси
Тел: - (99891) 974-12-61.

Аннотация. Ушбу мақолада автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимлари, хусусан САД/CAE/CAM тизимлари, уларнинг ўзаро интеграцияси ва классификацияси таҳлил қилинган. CAM тизимларида геометрик моделлаштиришнинг назарий асослари кўриб чиқилиб, кесувчи асбоб траекториясини аниқлашнинг математик моделлари келтирилган. Шунингдек, ушбу соҳада олиб борилган илмий тадқиқотлар таҳлили асосида мавжуд ёндашувларнинг афзаллик ва камчиликлари аниқланган. Айниқса, растр тасвирларни вектор форматга ўтказиш жараёнининг муаммолари, уларнинг ишлаб чиқариш жараёнига таъсири ва ечим истиқболлари батафсил ўрганилган. Тадқиқот натижасида CAM тизимлари учун самарали конвертация алгоритмларини ишлаб чиқиш зарурияти асослаб берилган.

Калит сўзлар: CAM тизимлари, CAD/CAE интеграцияси, геометрик моделлаштириш, кесувчи асбоб траекторияси, G-код, CNC дастгоҳлар, расстр тасвир, векторлаш, конвертация алгоритмлари, рақамли ишлаб чиқариш, 3D моделлаштириш, автоматлаштириш

Аннотация. В данной статье анализируются автоматизированные системы проектирования, в частности системы CAD/CAE/CAM, их взаимная интеграция и классификация. Рассматриваются теоретические основы геометрического моделирования в системах CAM и представлены математические модели определения траектории режущего инструмента. Также, на основе анализа научных исследований, проведенных в этой области, выявляются преимущества и недостатки существующих подходов. В частности, подробно изучаются проблемы преобразования растровых изображений в векторный формат, их влияние на производственный процесс и перспективы решения. В результате исследования обосновывается необходимость разработки эффективных алгоритмов преобразования для систем CAM.

Ключевые слова: системы CAM, интеграция CAD/CAE, геометрическое моделирование, траектория режущего инструмента, G-код, станки с ЧПУ, растровое изображение, векторизация, алгоритмы преобразования, цифровое производство, 3D-моделирование, автоматизация

Abstract. This article analyzes computer-aided design systems, specifically CAD/CAE/CAM systems, their mutual integration, and classification. It examines the theoretical foundations of geometric modeling in CAM systems and presents mathematical models for determining cutting tool paths. Also, based on an analysis of scientific research conducted in this area, the advantages and disadvantages of existing approaches are identified. Specifically, the problems of converting raster images to vector format, their impact on the production process, and potential solutions are examined in detail. The study substantiates the need to develop effective conversion algorithms for CAM systems.

Keywords: CAM systems, CAD/CAE integration, geometric modeling, cutting tool path, G-code, CNC machines, raster image, vectorization, transformation algorithms, digital manufacturing, 3D modeling, automation

КИРИШ.

Ҳозирги кунда ишлаб чиқариш жараёнларини рақамлаштириш ва автоматлаштириш саноат тараққиётининг асосий омилларидан бирига айланмоқда. Айниқса, CAD/CAE/CAM тизимларининг жорий этилиши маҳсулотни лойиҳалаш, таҳлил қилиш ва ишлаб чиқариш жараёнларини ягона рақамли муҳитда амалга ошириш имконини бермоқда. Бу эса ўз навбатида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш, вақт ва ресурсларни тежаш ҳамда инсон омили билан боғлиқ хатоларни камайтиришга хизмат қилмоқда.

CAM (Computer Aided Manufacturing) тизимлари автоматлаштирилган лойиҳалаш тизимларининг муҳим босқичи ҳисобланиб, тайёрланган рақамли моделларни бевосита ишлаб чиқариш жараёнига татбиқ этишни таъминлайди. Ушбу жараёнда геометрик моделлаштириш алоҳида аҳамият касб этиб, у кесувчи асбоблар траекториясини аниқлаш, ишлов бериш параметрларини белгилаш ва маҳсулот сифатини таъминлашда асосий ўрин тутади.

Шу билан бирга, замонавий ишлаб чиқаришда тасвирлар билан ишлаш, хусусан растр форматдан вектор форматга ўтиш муаммоси долзарб масалалардан бири бўлиб қолмоқда. Айниқса, ёғоч ўймакорлиги каби соҳаларда мураккаб нақш ва композицияларни рақамли муҳитга ўтказиш ва уларни CAM тизимлари орқали ишлаб чиқаришда юқори аниқликка эришиш талаб этилади. Мавжуд усулларда тасвир контурларини аниқлаш ва уларни сифатли векторлаш муаммолари етарли даражада ҳал этилмаган.

Шу муносабат билан ушбу маколада CAM тизимларида геометрик моделлаштириш жараёнлари таҳлил қилиниб, кесувчи асбоб траекториясини аниқлашнинг параметрик моделлари ўрганилган. Шунингдек, растр тасвирларни вектор форматга ўтказиш жараёнидаги

ISSN 3030-3907

муаммолар таҳлил қилиниб, уларни бартараф этишга қаратилган ёндашувлар ишлаб чиқиш мақсад қилинган.

CAM tizimlari uch bosqichli avtomatlashtirilgan loyihalashtirish tizimlarining (ALT) uchinchi bosqichi bo‘lib, ingliz tilidagi Computer Aided Manufacturing[1] so‘zining bosh harflaridan olingan [1]. Ushbu bosqich CAD (loyihani yaratish) va CAE (loyihani hisoblab chiqish) bosqichlaridan keyin loyihani amaliyotda yaratishni (ishlab chiqarishni) anglatadi. Dastlabki kam tizimlari avtomobilsozlik va kosmik kemalar qurilishi uchun qo‘llangan bo‘lib, Renault avtomobilsozlik kompaniyasi muhandisi Pyer Bezye (Pierre Beziers) 1968-yilda CAD/CAM tizimi uchun UNISURF dasturiy ilovasini ishlab chiqgan [2].

Umuman olganda, ishlab chiqarishni avtomatlashtirish uch bosqichda olib boriladi. Bular CAD/CAE/CAM bosqichlaridir. CAD – Computer Aided Design, yani loyiha chizmasini avtomatlashtirish bo‘lib, unda muhandislik go‘yasi chizma yoki model ko‘rinishida shakllanadi. CAE – bu Computer Aided Engineering – muhandislik hisob-kitob ishlarini avtomatlashtirish hisoblanib, ushbu bosqichda loyiha virtual sinovdan o‘tkaziladi. CAM bosqichida esa yaratilgan loyiha (g‘oya) raqamlashtirilgan boshqaruv dastgohlarda bevosita ishlab chiqarilishi tushuniladi. Ushbu bosqichda ishlab chiqilgan loyiha CAM apparat tizimi tushunadigan dasturiy tilga o‘girilishi nazarda tutiladi [1-3].

CAM tizimlariga umumiy tavsif beradigan bo‘lsak, CNC raqamli boshqariladigan dastgohlar (RBD)da metall, plastmassa, yog‘och va boshqa materiallarni ishlov berish, sanoat robotlarini avtomatlashtirilgan boshqarish va nazorat qilish, 3D printerlar orqali mahsulotlarni ishlab chiqarish va material sarfini optimallashtirish, yuqori aniqlikdagi kesish jarayonlarini avtomatlashtirish, mikrochiplar, elektron platalar va boshqa elektron qurilmalarni ishlab chiqarish tizimlari tushuniladi.

CAM tizimlarining asosiy funksiyasi – bu:

- RBDni boshqarish va ularni oldindan tayyorlangan dasturlar bo‘yicha ishlashini ta’minlash;
- ishlab chiqarish jarayonida material sarfini kamaytirish, vaqtni tejash va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish;
- shlab chiqarish jarayonini oldindan modellashtirish;
- mahsulot ishlab chiqarishda inson omiliga bog‘liq xatolarni kamaytirish va yuqori sifatni ta’minlash;
- ishlab chiqarish liniyalarini tez o‘zgartirish va yangi mahsulotga moslashtirish.

CAM tizimida amallar quyidagi ketma-ketlikda olib boriladi:

ISSN 3030-3907

- CAD tizimi asosida maxsulotning raqamli 2D yoki 3D modelini yaratilish (modeling);
- kesish, frezalash, burish, quyish va boshqa jarayonlarning texnologik parametrlarini aniqlash, belgilash;
- CAM dasturiy ta’minoti orqali kod yaratish va RBDga yuborish uchun G-kod ishlab chiqish;
- ishlab chiqarish jarayonini virtual sinov va simulyatsiya muhitda sinovdan o‘tkazish (simulyatsiya);
- tayyorlangan G-kodni RBDga yuklansh va ishlab chiqarish jarayonini boshlash.

CAM titzimlari CAD titzimlarida yaratilgan modellar asosida ishlaydi. Shu nuqtai nazardan CAD tizimlarida asosan ikki turdagi modellashtirish mavjud. Bular – ikki o‘lchamli chizma (2D) va hajmli jismni (3D) modellashtirish hisoblanadi [4].

Har ikki turdagi modellarda geometrik ob’ektlar – chiziqlar (tekis, fazoviy), shakllar (polygon) sirtlar (chiziqli, chiziqsiz), jismlar (figuralar) matematik apparatda RBD uchun dasturlash tillarida qayta kodlanadi yoki o‘giriladi.

CAM tizimlari asosan uch turdagi dastgohlarda qo‘llanadi. Bular – raqamli boshqariladigan dastgohlar, robotlashtirilgan dastgohlar va maxsus ixtisoslashtirilgan dastgohlar.

Raqamli boshqariladigan dastgohlar (RBD)ga freza dastgohlari, tokarlik dastgohlari, plazmali kesish dastgohlari, lazerli kesish dastgohlari, suv bosimi bilan kesish dastgohlari, shtampovkalab kesuvchi (teshuvchi) dastgohlar kiradi [5-6].

Robotlashgan dastgohlar esa bir nechta operatsiyar majmui asosida ishlashni nazarda tutadi. Misol uchun – payvandlash, quyish, bo‘yash, yig‘ish, burish, tashish va boshqa operatsiyalarni avtomatik amalga oshiradi. Bugungi kunda keng ommalashib borgan 3D printerlar ham ushbu robotlashtirilgan dastgohlar oilasiga mansubdir [7-8].

Maxsus ixtisoslashtirilgan dastgohlar ma’lum bir tor doiradagi sohalarda qo‘llanadi. Misol uchun – yuqori aniqlikda elektron plata va mikrosxemalar ishlab chiqish, meditsina uchun imlantlar, protezlar va jarrohlik asbob-uskunalarini ishlab chiqish va h… [15-10].

Dastlabki RBDlar uchun modelni G-kodini yaratish va buning uchun maxsus dasturchilarni jalb etish talab qilinganligi sabab CAM tizimlarining ishlab chiqarish jarayoniga integratsiyalashuvi qiyin kechgan. Bugungi kunda aksariyat RBDlar personal kompyuter va CAD tizimi dasturiy ilovasi bilan ta’minlangan bo‘lib, unda modelni CAD tizimida yaratish, RBD muhitiga avtomatik eksport qilish, dastlabki sinovdan o‘tkazish va to‘g‘ridan-to‘g‘ri RBDda modelni real ishlab chiqarish mumkin. Zamonaviy CAM tizimlari CAD tizimlari bilan

ISSN 3030-3907

ta’minlanganligi, CAD tizimida yaratilgan modelni CAM tizimiga avtomatik konvertatsiya qilish imkoniyati sabab, ishlab chiqarishda jadal rivojlanishni olib keldi.

Demak dastlab modelni CAD tizimida yaratish so‘ng uni CAM tizimi uchun konvertatsiya qilish asosiy shartlardan bibri bo‘lib qolmoqda. Shunga qaramay bugungi kunda RBDlarda real ob’yektni 3D scanerlash yoki raqamli fotonusxalash asosida to‘g‘ridan-to‘g‘ri uning CAD yoki CAM modelini yaratish istiqbollari kuzatilmoqda. Yani real ob’yektni konvertatsion dasturlar asosida virtual modelini yaratish dolzarb muammo va real masalalardan biri bo‘lib bormoqda.

Bugungi kunda CAM tizimlari ishlab chiqarishning barcha jabhalarida keng qo‘llanilib, aksariyat CAM tizimlari personal kompyuter va unda CAD tizimi integratsiya qilingan dasturiy interfeysiga ega. So‘nggi 15-20 yilda CAD/CAM tizimlari va ularni ishlab chiqarish jarayoniga interatsiyalashtuvi ishlab chiqarishni yangi bosqichga olib chiqdi. Bu hol shiddat bilan rivojlanib borayotgan bozor iqtisodiyoti sharoitida maxsulotni tez, arzon va sifatli ishlab chiqarishga bo‘lgan talabni kelib chiqishi bilan izohlanadi. Bunday talablarni esa faqatgina CAD/CAM tizimi joriy etilgan ishlab chiqarish tarmog‘idagina amalga oshirishi mumkin.

So‘nggi yillarda mebelsozlik sanoatida ham CAD/CAM tizimlari tub burilish yaratdi. Murakkab naqsh kompozitsiyalariga ega bo‘lgan yog‘och o‘ymakorlik ishlari turli mebellarda keng qo‘llanilishini kuzatish mumkin. Aksariyat CAM tizimiga ega rover dastgohlari CAD dasturiy ta’minotiga ega bo‘lgan interfeys va tayyor vektor formatli turli kompozitsion andozalar bibliotekasi bilan birga yetkazib berilmoqda. Muammo shundaki, ixtiyoriy kompozitsion yechim talab etilsa u holda ushbu kompozitsiya CAD tizimi interfeysidan foydalanib yaratilishi nazarda tutiladi. Ma’lum bir rastr formatiga ega bo‘lgan tasvir esa dastlab CAD tizimiga import qilinishi, ya’ni konvertatsiyadan o‘tkazilishi talab etiladi. shundan so‘ng uni vektor tasvir formatida rover dastgohiga uzatish mumkin bo‘ladi. Muammo shundaki CAD/CAM tizimli rover dastgohlarining rastr formatlarini vektor formatiga o‘tkazilishi yetarli darajada tatbiq qilinmagan. Rastr tasvirlarni o‘zini dastlabki ishlov berish orqali unda tasvir sifatini boshqarish (yorqinlik va yorug‘lik), tasvir konturlarini konkretlashtirish algoritmlari yetarli sifatni ta’minlab bermaydi. Natijada, rast tasvirlar CAD tizimiga import qilinganidan keyin to‘liq qaytadan konturlashni talab etadi va juda ko‘p vaqt sarfini talab etadi. Bundan tashqari foydalanuvchidan yetarli darajada tajriba va malakani talab etadi.

Shu o‘rinda, rastr formatini yetarli darajada boshqarish, rangli xromatik tasvirni oq-qora axromatik tasvirga o‘tkazish asosida tasvir konturlini yetarli

ISSN 3030-3907

aniqlik darajasiga olib chiqish, kontur chiziqlari qalinligini boshqarish imkoniyatlariga ega bo‘lgan konvertatsion dasturlarga talab katta ekanligi namoyon bo‘ladi. Ushbu imkoniyatlarga ega bo‘lgan konvertatsion dasturlar CAM tizimida ishlovchi RBDlarni sifat va vaqt nuqtai nazaridan yangi bosqichga olib chishi shubhasizdir.

CAM tizimida geometrik modellashtirish deganda detal sirt yuzasi asosida kesuvchi asbob traektoriyasini hisoblab chiqish tushuniladi. Umumiy holda detal sirtining matematik ifodasi quyidagi parametrik ko‘rinishga ega [11; 99-b]:

$$\vec{r}(u,v) = [x(u,v), y(u,v), z(u,v)] \quad \text{yoki} \quad \vec{r}(u,v) = \begin{bmatrix} r_1(u,v) \\ r_2(u,v) \\ r_3(u,v) \end{bmatrix}. \qquad (1.1)$$

Bu yerda: x, y, z yoki r_1, r_2, r_3 $r(u, v)$ yasovchi va yo‘naltiruvchilardan iborat sirtga tegishli bo‘lgan nuqtaning radius-vektor koordinatalari.

Tekislik uchun 1.1 tenglamada $z(u,v)$ yoki $r_3(u,v)$ ni nolga teglashtirish kifoya.

Kesuvchi asbob trayektoriyasini bevosita sirt yuzasiga tegishli bo‘lgan chiziq bo‘ylab harakatlanishini hisobga olsak u holda fazoviy egri chiziqning parametrik berilishi quyidagi ko‘rinishga ega [11; 22-b]:

$$\vec{r}(t) = [x(t), y(t), z(t)] \qquad \text{yoki} \qquad \vec{r}(t) = \begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \\ r_3(t) \end{bmatrix} \qquad (1.2)$$

Bu yerda x, y, z yoki r_1, r_2, r_3 $r(t)$ parametrli fazoviy egri chiziq nuqtasining radius-vektor koordinatalari.

Shuningdek, (1.2) tenglamada $z(t)$ yoki $r_3(t)$ ni nolga tenglashtirib, tekis egri chiziqni ifodalash mumkin bo‘ladi.

Kesuvchi asbobning detal sirtidagi trayektoriya bo‘ylab harakat uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

$$L = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}\, dt \qquad (1.3)$$

Bunda ham dz/dt ni nolga tenglashtirib tekis egri chiziqning trayektoriya uzunligigni aniqlash mumkin.

CAM tizimlarini yog‘och o‘ymakorligida qo‘llashga qaratilgan ilmiy ishlar juda kam o‘rganilgan bo‘lib, dastlabki ilmiy izlanishlarga N.O. Rudenkoni [9] ishlarini misol keltirish mumkin. N.O. Rudenko tomonidan badiiy buyumlarni ishlab chiqishda ularning sirt yuzasi geometrik xususiyatini inobatga olib tavsiflangan va polygonal sirt yuzasi ko‘rsatkichi kiritilgan:

$$R = \frac{N_P}{S_M}, \qquad (1.4)$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda: N_P – polygon uchlarining umumiy soni; S_M – model sirtining yuzasi.

Shuningdek, N.O. Rudenko tomonidan frezaning gorizontal tekislikda hararakatlanish qadamining tenglamasi ishlab chiqilgan:

$$S = \sqrt{8R_f * Rm_{max} - 3R_f^2 - 4Rm_{max}^2} \qquad (1.5)$$

Bu yerda: S – frezaning x o‘qi bo‘yicha qadami; R_f – sharsimon frezaning radiusi; Rm_{max} – profilning yuqori balandligi.

N.O. Rudenkoning ilmiy izlanishlarida asosan yog‘och materiali va unda faktura hosil qilishga qaratilgan bo‘lib, «Фактура 1» va «Фактура 2» nomli dasturiy ilovalari ishlab chiqilgan. Dasturlar yog‘och yuzasida oldindan berilgan shartlar asosida turli suniy fakturani (notekisliklarni) ishlov berish asosida keltirib chiqaradi, biroq, faktura ustida vektorli tasvirni hosil qilish algoritmlari o‘rganilmagan.

Lojkin Yu.V. [12] yog‘och o‘ymakorligi uchun naqsh kompozitsiyasidagi elementlarning matematik modellarni aniqlash va har bir element uchun freza kesish yunalishi trayektoriyasini algoritmini ishlab chiqishni tavsiya etgan. Yu.V. Lojkin tavsiya etgan algoritmda freza modelni bir necha bosqichda o‘tib ishlov berishni nazarda tutadi. Bugungi kunda aksariyat CAM tizimli frezalar x va y koordinatalar bo‘ylab bir marta o‘tib ishlov berishni inobatga olsak, modelni bir-necha bosqichda ishlov berish vaqtni ko‘p sarflashi hisobiga o‘z aktualligini yo‘qotmoqda.

Pirogov V.V. [13] CAM tizimlari uchun ikki egrilikka ega bo‘lgan sirtlarni analitik splaynlar asosida topologik sirtlarga approksimatsiya qilishni taklif etgan. Bunday sirtlarga gidronasos parraklari (lopastlari)ni misol keltirish mumkin. Topologik sirtlar uch o‘lchamli sirtlar bo‘lib, yog‘och o‘ymakorligida asosan turli ustun va qubbalarni bezakli ishlov berishda qo‘llanilishi mumkin. V.V. Pirogobning ishlanmalari 4 va undan yuqori bo‘lgan o‘qlar bo‘ylab harakatlanadigan RBDlarga qo‘l kelib, tekis yuzalarda vektorli tasvir formatini yaratishga qaratilmagan.

Sandu O.M. [14] o‘z ilmiy izlanishlarida kesubchi asbob (freza)ni girdobli harakatlantirish asosida dastgohda aylanma harakatdagi yog‘och bo‘lagida dekorativ relef hosil qilish tmatematik modelini tadqiq qilgan. Ya’ni:

$$X = \frac{v_{\text{п}}}{n_{\text{и}}k};\ Y = \frac{2\pi R_3 n_3}{n_{\text{и}}k};\ x = \frac{v_{\text{п}}}{n_3};\ y = 2\pi R_3\left(\frac{(N+1)n_3}{(n_{\text{и}}k)}\right);$$

$$A = 2R_3 n_3\left(2t_{\text{p}}\left(\text{e} - R_3\sin\alpha + \frac{t_{\text{p}}^2}{\sin^2\alpha}\right)^{1/2} / \left(\text{e} - R_3\sin\alpha + \frac{t_{\text{p}}^2}{\sin\alpha}\right)n_{\text{и}}\right);$$

ISSN 3030-3907

$$B = \left(\frac{2t_{\text{p}}(\text{e}-R_3 \sin\alpha)}{\sin\alpha} + t_{\text{p}}^2/\sin^2\alpha\right)^{1/2} * \left(2 + \upsilon_{\text{п}}/\pi n_{\text{и}}\left(\text{e} - R_3\sin\alpha + \frac{t_{\text{p}}}{\sin\alpha}\right)\right);$$

$$\sin\gamma = 2\pi R_3 n_3^2/(\upsilon_{\text{п}} n_{\text{и}} k). \qquad (1.6)$$

Bu yerda: X, Y – mos ravishda relyef elementlarining gorizontal va vertikal yo‘nalishlarda bir burilish ichida siljishi; x, y – gorizontal va vertikal yo‘nalishlarda girdoblarning bir-biriga nisbatan siljishi; A, B – freza pichog‘ining ishlov beriladigan yuza bilan bir martalik o‘zaro ta’siri natijasida olingan relyef elementining umumiy o‘lchamlari (eni va uzunligi); γ – relyef girdoblarining siljish burchagi; $\upsilon_{\text{п}}$ – asbobni o‘q yo‘nalishida etkazib berish tezligi; n_u – frezaning aylanishlari soni; k – freza pichoqlari soni; n_3 – xomtovon (zagotovka)ning aylanishlari soni; R_3 – xomtovonning radiusi; L_3 – xomtovonning aylana uzunligi; N – bitta girdobda relef elementlarining butun soni; t_p – o‘yish chuqurligi; e – xomtovonning o‘qiga nisbatan frezaning vertikal soljishi; α – freza pichog‘ining qiyalik burchagi.

O.M. Sanduning ilmiy izlanishi aylanma (silindrik) yog‘och yuzasida freza pichog‘ini bir tekis girdobli harakati asosida sun’iy relef fakturasini hosil qilishdan iborat, biroq ushbu fakturani rastrli tasviri asosida uni vektor tasvirga konvertatsiya qilish muammosi o‘rganilmagan.

Mazkur maqolada quyidagi ilmiy yangiliklar olindi:

1. CAM tizimlarida geometrik modellashtirish jarayonlari tahlil qilinib, kesuvchi asbob traektoriyasini aniqlashning parametrik modellari tizimli ravishda takomillashtirildi.
2. Rasstr tasvirlarni vektor formatga o‘tkazish jarayonining mavjud muammolari aniqlanib, ularni bartaraf etishga qaratilgan bosqichli konvertatsiya yondashuvi taklif etildi.
3. Tasvirlarni qayta ishlashda (yorqinlik, kontrast va konturlarni aniqlash) parametrlarni optimal tanlash orqali vektorlash sifatini oshirish usuli asoslab berildi.
4. CAM tizimlari uchun moslashtirilgan, ishlab chiqarish jarayoni talablarini hisobga oluvchi vektorlash algoritmlarini ishlab chiqish zarurati ilmiy jihatdan isbotlandi.
5. Yog‘och o‘ymakorligi kabi amaliy sohalarda rasstrdan vektorga o‘tish jarayonini takomillashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyatlari ko‘rsatib berildi.

XULOSA. Ushbu tadqiqotda CAM tizimlarida geometrik modellashtirishning nazariy va amaliy jihatlari keng qamrovda o‘rganildi. CAD/CAE/CAM tizimlarining o‘zaro integratsiyasi va ularning ishlab chiqarish jarayonidagi o‘rni tahlil qilindi.

ISSN 3030-3907

Kesuvchi asbob traektoriyasini aniqlashda parametrik modellardan foydalanishning ahamiyati asoslandi. Shu bilan birga, rasstr tasvirlarni vektor formatga o‘tkazish jarayonida mavjud muammolar, xususan konturlarni aniqlash va tasvir sifatini saqlash masalalari chuqur tahlil qilindi.

ADABIYOTLAR

1. CAM. https://ru.wikipedia.org/wiki/CAM (murojaat sanasi 04.03.2025).
2. Computer-aided manufacturing. https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing (murojaat sanasi 25.03.2025).
3. CAD.https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.22a713aa-67c69d4f-7ff9a7ae-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_design (murojaat sanasi 04.03.2025).
4. Быков А. Желаемое и действительное в геометрическом моделировании // САПР и графика. – М.: 2002. №1. https://sapr.ru/article/6692?ysclid=m8xzmzig1419323897 (murojaat sanasi 01.04.2025).
5. Ковалькова И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства деталей сложной формы: автореф… канд. тех. наук: 05.13.12. – Самара. 2000. – 17 с.
6. Фокин Н.Н. Модель, алгоритмы и программная реализация инструментария разработки управляющих программ для токарных, токарно-фрезерных и фрезерных станков с ЧПУ: автореф… канд. тех. наук: 2.3.3 (05.13.06). – Москва. 2023. – 22 с.
7. Божко А.Н. Автоматизированный структурный анализ и синтез проектных решений в технической подготовке сборочного производства сложных изделий: автореф… док. тех. наук: 05.13.12. – Москва. 2019. – 34 с.
8. Серков Н.А. Точность многокоординатных машин с ЧПУ: теория, эксперимент, практика: автореф… док. тех. наук: 05.02.18, 05.11.15. – Москва. 2017. – 34 с.
9. Руденко Н.О. Дизайн резных художественно-промышленных изделий из древесины при автоматизированном производстве: автореф… канд. тех. наук: 17.00.06. – Ижевск. 2013. – 20 с.
10. Макеев П.А. Разработка методики автоматизированного размещения элементов на гибко-жесткой печатной плате электронного средства: автореф… канд. тех. наук: 2.3.7 (05.01.08). – Екатеринбург. 2005. – 24 с.
11. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. Учебное пособие. – М.: Инфра-М, 2016. – 400 с.

ISSN 3030-3907

12. Мамаев Ю.А. Динамика движения робота-станка с параллельной кинематикой (гексапода) для окончательной обработки деталей сложной геометрии: автореф… канд. тех. наук: 01.02.06. – Курск. 2014. – 16 с.
13. Пирогов В.В. Топологическое построение связанных моделей поверхностей деталей на основе аналитических сплайнов для программирования обработки на станках с ЧПУ: автореф… канд. тех. наук: 05.13.06. – Москва. 2004. – 24 с.
14. Санду О.М. Дизайн художественных изделий из древесины с регулярным декоративным рельефом: автореф… канд. тех. наук: 17.00.06. – Москва. 2005. – 20 с.
15. Целюкова Н.А. Оптимизация лечения пациентов с применением CAD/CAM технологий в клинике ортопедической стоматологии: автореф… док. мед. наук: 14.01.14. – Москва. 2013. – 45 с.

ISSN 3030-3907