

GTL KORXONALARIDA BUG‘ TAYYORLASH JARAYONINI INTELLEKTUAL BOSHQARISH MODELINI ISHLAB CHIQISH

Farmonov Laziz Beg‘am o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti

“Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrası magistranti

Yusupov Sherov Baxtiyor o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti

“Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrası magistranti

Botirov O‘ktam Usmon o‘g‘li

Qarshi davlat texnika universiteti

“Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqaruv” kafedrası magistranti

Norqobilov Adham Tilovovich

Qarshi davlat texnika universiteti

“Sanoatda axborot texnologiyalari va turizm” kafedrası v.v.b professori

Email: adham.norkobilov@gmail.com

Tel: +998993015567

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21132765>

Annotatsiya: Mazkur tadqiqotda GTL (Gas-to-Liquids) korxonalaridagi bug‘ qozonlarida bug‘ tayyorlash jarayonini intellektual boshqarish masalasi o‘rganildi. Jarayonning asosiy boshqaruv parametrlari sifatida bug‘ bosimi xatoligi va bug‘ sarfi tanlanib, yoqilg‘i klapani ochilish darajasi chiqish parametri sifatida qabul qilindi. Tadqiqotda Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) asosida matematik model ishlab chiqildi va uning ishlash samaradorligi baholandi. Modelni o‘qitish va sinovdan o‘tkazish uchun GTL korxonasi texnologik ish rejimlari asosida shakllantirilgan 150 ta ma‘lumotlar to‘plamidan foydalanildi. Olingan natijalarga ko‘ra model uchun o‘qitish bosqichida $R^2=0,991$, sinov bosqichida esa $R^2=0,989$ qiymatlari olindi. Shuningdek RMSE va MAE ko‘rsatkichlari mos ravishda 2,279 va 1,811 hamda 2,142 va 1,682 ni tashkil etdi. Tadqiqot natijalari ANFIS modeli bug‘ tayyorlash jarayonlarini yuqori aniqlik bilan modellashtirish va boshqarish imkoniyatiga ega ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: GTL, bug‘ qozoni, ANFIS, sun‘iy intellekt, noaniq mantiq, neyron tarmoq, bug‘ sarfi, bug‘ bosimi, intellektual boshqaruv, modellashtirish.

Abstract: This study investigates the intelligent control of steam generation processes in GTL (Gas-to-Liquids) boiler systems. Steam pressure error and steam flow rate were selected as the main input variables, while the fuel valve opening was considered as the output parameter. An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) model was developed to describe the nonlinear relationship between process variables and control actions. A dataset consisting of 150 operating conditions generated based on GTL plant technological regimes was used for model training and testing. The developed model demonstrated high prediction accuracy with coefficient of determination values of $R^2=0.991$ for training data and $R^2=0.989$ for testing data. The obtained RMSE and MAE values were 2.279 and 1.811 for training, and 2.142 and 1.682 for testing.

respectively. The results confirm that the ANFIS-based intelligent control approach can effectively model and optimize steam generation processes in GTL plants.

Keywords: GTL, steam boiler, ANFIS, artificial intelligence, fuzzy logic, neural network, steam flow, steam pressure, intelligent control, modeling.

Аннотация: В данной работе исследована задача интеллектуального управления процессом выработки пара в паровых котлах GTL (Gas-to-Liquids) предприятий. В качестве входных параметров были выбраны ошибка давления пара и расход пара, а в качестве выходного параметра – степень открытия топливного клапана. Для моделирования процесса была разработана модель на основе Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Для обучения и тестирования модели использовался набор данных, сформированный на основе технологических режимов работы GTL предприятия и содержащий 150 наблюдений. Полученные результаты показали высокую точность модели: коэффициент детерминации составил $R^2=0,991$ для обучающей выборки и $R^2=0,989$ для тестовой выборки. Значения RMSE и MAE составили соответственно 2,279 и 1,811 для обучающих данных, а также 2,142 и 1,682 для тестовых данных. Результаты исследования подтверждают эффективность применения ANFIS для интеллектуального управления и оптимизации процессов парообразования на предприятиях GTL.

Ключевые слова: GTL, паровой котёл, ANFIS, искусственный интеллект, нечеткая логика, нейронная сеть, расход пара, давление пара, интеллектуальное управление, моделирование.

Kirish: Hozirgi kunda neft-gaz sanoatida energiya samaradorligini oshirish, texnologik jarayonlarning barqarorligini ta'minlash hamda ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa Gas-to-Liquids (GTL) texnologiyasi asosida faoliyat yurituvchi korxonalarda bug' ishlab chiqarish va undan samarali foydalanish jarayonning uzluksiz ishlashini ta'minlovchi muhim omillardan biri hisoblanadi. GTL zavodlarida bug' qozonlari texnologik qurilmalarni issiqlik energiyasi bilan ta'minlash, reaktorlar va issiqlik almashinish apparatlarining zarur ish rejimlarini ushlab turish hamda umumiy energiya balansini boshqarishda muhim ahamiyatga ega [1].

Bug' qozonlarining samarali ishlashi ishlab chiqarilayotgan bug'ning bosimi, sarfi va sifat ko'rsatkichlarining belgilangan qiymatlar atrofida barqaror saqlanishiga bog'liq. Biroq amaliyotda iste'mol yuklamasining o'zgarishi, yoqilg'i sarfidagi tebranishlar, tashqi muhit omillari hamda texnologik jarayonlarning nochiziqli xususiyatlari sababli bug' ishlab chiqarish jarayonini an'anaviy boshqarish usullari yordamida yuqori aniqlikda boshqarish qiyinlashadi. Natijada energiya sarfining ortishi, bug' sifatining pasayishi va texnologik jarayon samaradorligining kamayishi kuzatilishi mumkin [2].

Soʻnggi yillarda murakkab va nochiziqli texnologik obyektlarni boshqarishda sunʼiy intellekt asosidagi yondashuvlardan keng foydalanilmoqda. Xususan, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) modeli neyron tarmoqlarning oʻrganish qobiliyati hamda noaniq mantiq (Fuzzy Logic) tizimlarining ekspert bilimlarini ifodalash imkoniyatlarini birlashtirganligi sababli sanoat obyektlarini modellashtirish va boshqarishda samarali vosita sifatida qaralmoqda. ANFIS modeli kirish va chiqish parametrlarining murakkab nochiziqli bogʻlanishlarini aniqlash hamda real jarayonlarga moslashish imkoniyatiga ega [3].

Bugungi kunda ANFIS algoritmlari kimyo sanoati, energetika tizimlari, issiqlik texnikasi, suv tozalash qurilmalari va texnologik jarayonlarni optimallashtirish masalalarida muvaffaqiyatli qoʻllanilmoqda. Shunga qaramasdan, GTL korxonalaridagi bugʻ qozonlarida bugʻ tayyorlash jarayonini intellektual boshqarish masalalari yetarli darajada oʻrganilmagan boʻlib, ushbu yoʻnalishda samarali boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish ilmiy va amaliy jihatdan muhim hisoblanadi [4].

Mazkur tadqiqotning maqsadi GTL korxonalarida bugʻ tayyorlash jarayonini modellashtirish va boshqarish uchun ANFIS asosidagi intellektual modelni ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqotda bugʻ bosimi xatoligi va bugʻ sarfi kirish parametrlari sifatida tanlanib, yoqilgʻi klapani ochilish darajasi chiqish parametri sifatida qabul qilindi. Ishlab chiqilgan ANFIS modeli yordamida bugʻ qozonining boshqaruv xususiyatlari oʻrganildi hamda modelning bashorat qilish aniqligi RMSE, MAE va R^2 koʻrsatkichlari asosida baholandi.

Asosiy qism: GTL (Gas-to-Liquids) korxonalarida bugʻ qozonlari texnologik jarayonlarning uzluksiz va barqaror ishlashini taʼminlovchi asosiy energetik qurilmalardan biri hisoblanadi. Bugʻ ishlab chiqarish jarayonida bugʻ bosimining belgilangan qiymatlarda ushlab turilishi hamda isteʼmol yuklamalariga mos ravishda yoqilgʻi sarfining boshqarilishi tizim samaradorligiga bevosita taʼsir koʻrsatadi. Shu sababli mazkur tadqiqotda bugʻ tayyorlash jarayonini intellektual boshqarish uchun ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) modeli ishlab chiqildi.

Tadqiqot uchun GTL korxonasida bugʻ ishlab chiqarish jarayonining texnologik koʻrsatkichlari asosida shakllantirilgan maʼlumotlar bazasidan foydalanildi. Jarayonning asosiy boshqaruv parametrlari sifatida bugʻ bosimi xatoligi va bugʻ sarfi tanlandi. Chiqish parametri sifatida esa yoqilgʻi gaz klapanining ochilish darajasi qabul

qilindi. Ma’lumotlar to’plami 150 ta kuzatuvdan iborat bo’lib, ular bug‘ qozonining turli yuklama rejimlaridagi ish holatlarini qamrab oladi.

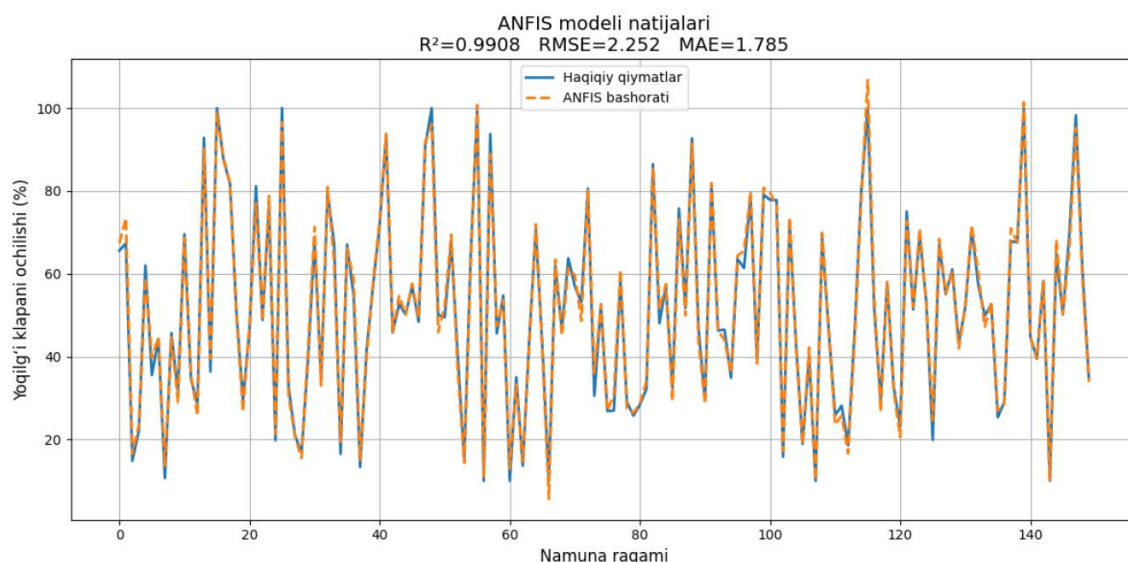
ANFIS modeli Sugeno tipidagi noaniq mantiq tizimi asosida qurildi. Model ikkita kirish va bitta chiqish parametriga ega bo’lib, har bir kirish parametri uchun uchta Gauss tipidagi a’zolik funksiyasi tanlandi. Natijada modelda jami 9 ta noaniq qoidalar bazasi shakllantirildi.

ANFIS modelini o’qitish uchun ma’lumotlar to’plami 80 % o’qitish va 20 % sinov ma’lumotlariga ajratildi. Ma’lumotlarni normallashtirish uchun Min-Max usulidan foydalanildi. Model parametrlarini optimallashtirish Adam algoritmi yordamida amalga oshirildi. O’qitish jarayoni Python dasturlash tilida PyTorch kutubxonasi asosida ishlab chiqilgan dasturiy ta’minot yordamida bajarildi.

ANFIS modelining o’qitilishi natijasida bug‘ qozoni boshqaruv parametrlarining o’zaro bog’liqligi yuqori aniqlik bilan aniqlandi. Modelning bashorat qilish qobiliyatini baholash uchun RMSE, MAE va R^2 ko’rsatkichlaridan foydalanildi.

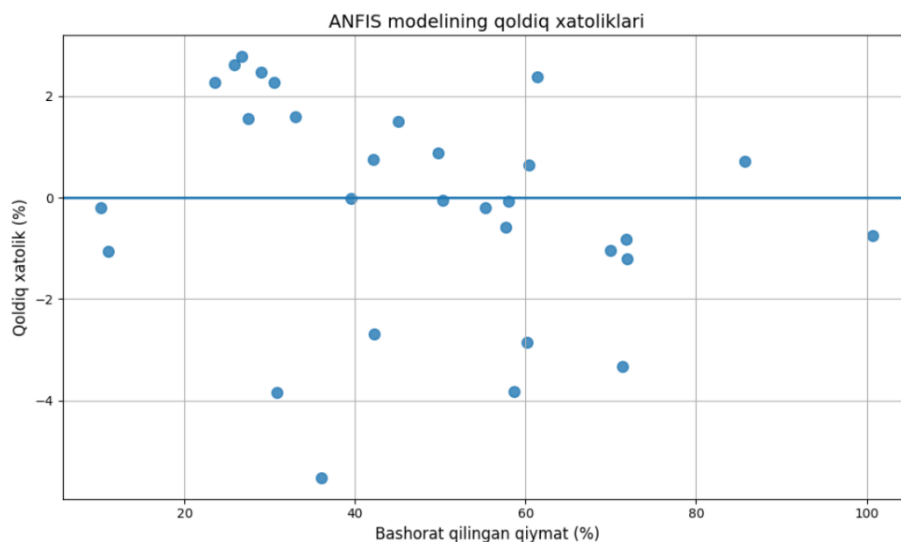
ANFIS modelining haqiqiy va bashorat qilingan qiymatlari o’rtasidagi bog’liqlik 1-rasmda keltirilgan.

1-rasmdan ko’rinib turibdiki, ANFIS modeli tomonidan hisoblangan natijalar haqiqiy qiymatlarga juda yaqin joylashgan. Grafik bo’yicha bashorat qilingan va real qiymatlar deyarli bir-birini takrorlaydi.



1-rasm. ANFIS modeli tomonidan hisoblangan va haqiqiy yoqilg'i klapani ochilish qiymatlarining taqqoslanishi.

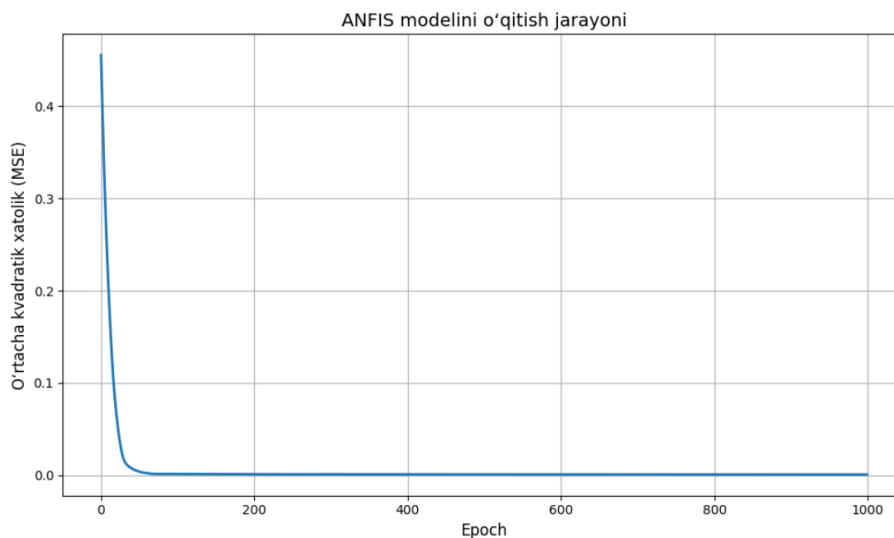
Bu esa model bug‘ qozonining turli ish rejimlaridagi dinamik xatti-harakatlarini muvaffaqiyatli o‘rganganligini ko‘rsatadi. Olingan natijalarga ko‘ra model uchun umumiy determinatsiya koeffitsienti $R^2 = 0.9908$ ni tashkil etdi. Shuningdek $RMSE = 2.252$ va $MAE = 1.785$ qiymatlari kuzatildi. Ushbu natijalar ishlab chiqilgan modelning yuqori aniqlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Model xatoliklarining taqsimoti 2-rasmda tasvirlangan.



2-rasm. ANFIS modelining qoldiq xatoliklari taqsimoti.

2-rasm tahlili shuni ko‘rsatadiki, qoldiq xatoliklarning asosiy qismi nol qiymati atrofida jamlangan. Xatoliklarning tasodifiy taqsimlanganligi modelda sistematik og‘ishlar mavjud emasligini bildiradi. Ko‘pchilik nuqtalar ± 3 % oralig‘ida joylashgan bo‘lib, faqat ayrim holatlarda ± 5 % gacha chetlanish kuzatilgan. Bu esa modelning sanoat sharoitidagi real jarayonlarni yetarli aniqlik bilan ifodalay olishini ko‘rsatadi.

ANFIS modelining o‘qitilish jarayonidagi xatolik funksiyasining o‘zgarishi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. ANFIS modelini o'qitish jarayonida MSE xatoligining o'zgarishi.

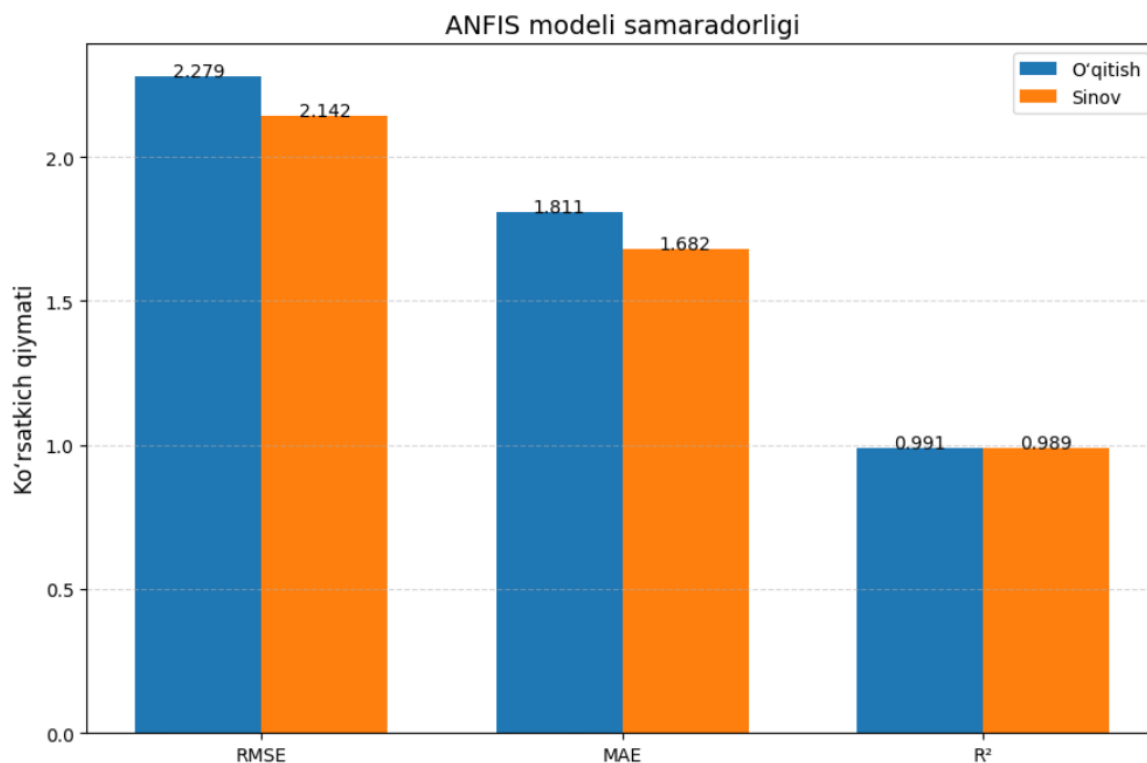
3-rasmdan ko'rinib turibdiki, o'qitishning dastlabki bosqichlarida xatolik qiymati keskin kamaygan. Taxminan 50–80 epochdan so'ng model barqaror holatga o'tgan va MSE qiymati nolga yaqinlashgan. Bu holat ANFIS modelining parametrlarini muvaffaqiyatli optimallashtirilganligini hamda modelning yaxshi konvergensiyaga ega ekanligini ko'rsatadi.

O'qitish va sinov ma'lumotlari bo'yicha model samaradorligini taqqoslash natijalari 1-jadval va 4-rasmda keltirilgan.

2-jadval. ANFIS modelining samaradorlik ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	O'qitish	Sinov
RMSE	2.279	2.142
MAE	1.811	1.682
R^2	0.991	0.989

1-jadval va 4-rasm natijalaridan ko'rinadiki, o'qitish va sinov ma'lumotlari uchun hisoblangan ko'rsatkichlar bir-biriga juda yaqin qiymatlarga ega. O'qitish bosqichida $R^2 = 0.991$, sinov bosqichida esa $R^2 = 0.989$ natija olindi.



4-rasm. O'qitish va sinov ma'lumotlari uchun ANFIS modelining samaradorlik ko'rsatkichlarini taqqoslash.

RMSE va MAE qiymatlaridagi farq ham juda kichik bo'lib, modelning umumlashtirish qobiliyati yuqori ekanligini ko'rsatadi. Bu holat modelda overfitting kuzatilmaganligini va ishlab chiqilgan ANFIS algoritmi GTL korxonalaridagi bug' tayyorlash jarayonlarini samarali modellashtira olishini tasdiqlaydi.

Olingan natijalar ANFIS asosidagi intellektual boshqaruv tizimi bug' qozonlarining ish rejimlarini optimallashtirish, energiya sarfini kamaytirish hamda texnologik jarayonning barqarorligini oshirish uchun istiqbolli yechim ekanligini ko'rsatdi.

Xulosa: Mazkur tadqiqotda GTL korxonalarida bug' tayyorlash jarayonini intellektual boshqarish uchun ANFIS asosidagi model ishlab chiqildi va uning samaradorligi baholandi. Tadqiqot davomida bug' bosimi xatoligi va bug' sarfi kirish parametrlari, yoqilg'i klapani ochilish darajasi esa chiqish parametri sifatida tanlandi. Shakllantirilgan ma'lumotlar bazasi asosida ANFIS modeli o'qitildi va sinovdan o'tkazildi. Olingan natijalarga ko'ra model o'qitish bosqichida $R^2=0,991$ va sinov bosqichida $R^2=0,989$ qiymatlariga erishdi. RMSE va MAE ko'rsatkichlarining past

qiymatlari modelning yuqori aniqlik bilan ishlashini tasdiqladi. Haqiqiy va bashorat qilingan qiymatlar o'rtasidagi yuqori moslik hamda qoldiq xatoliklarning tasodifiy taqsimlanishi modelda sezilarli sistematik xatoliklar mavjud emasligini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari ANFIS algoritmi GTL korxonalaridagi bug' qozonlarining murakkab va noxiziqli jarayonlarini samarali modellashtirish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatdi. Ishlab chiqilgan model bug' tayyorlash jarayonlarining barqarorligini oshirish, energiya resurslaridan samarali foydalanish va yoqilg'i sarfini optimallashtirish uchun intellektual boshqaruv tizimlarini yaratishda qo'llanilishi mumkin. Kelgusida modelga qo'shimcha texnologik parametrlarni kiritish hamda real vaqt rejimida boshqaruv tizimlari bilan integratsiyalash orqali uning amaliy samaradorligini yanada oshirish mumkin.

References

- [1] Ashby M F 2000 Multi-objective optimization in material design and selection Acta Materialia 48 359–69
- [2] Ashby M F and Ashby M F 2011 Materials Selection in Mechanical Design (Elsevier Science)
- [3] Kalidindi S R, Buzzy M, Boyce B L and Dingreville R 2022 Digital Twins for Materials Front. Mater. 9 818535
- [5] Roters F, Eisenlohr P, Hantcherli L, Tjahjanto D D, Bieler T R and Raabe D 2010 Overview of constitutive laws, kinematics, homogenization and multiscale methods in crystal plasticity finite-element modeling: Theory, experiments, applications Acta Materialia 58 1152–211