

KIMYOVIY JARAYONNING NOTO'G'RI DIAGNOSTIKASI UCHUN JARAYON TOPOLOGIYASI KONVOLYUTSION TARMOQ MODELI.

*Muborak Abduqodirova¹,
Durbek Mambetov¹,
Shoxida Jumanova¹,
Javohirbek Mahmudov¹*

¹Toshkent Davlat Texnika Universiteti Olmaliq filiali

Kalit so'zlar: Nosozlik diagnostikasi, kimyoviy jarayoni, jarayon topologiyasi bilan konvolyutsion tarmoq, tushuntiriladigan chuqur o'rganish, jarayon xavfsizligi.

Annotatsiya. Kimyoviy jarayonlarda har doim potentsial xavfsizlik xavfi mavjud. Jarayonlarning anormalliklari yoki nosozliklari kutilmagan hayot va mulkni yo'qotish bilan og'ir baxtsiz hodisalarga olib kelishi mumkin. Erta va aniq nosozliklarni aniqlash va tashxislash (FDD) bu baxtsiz hodisalarning oldini olish uchun juda muhimdir. Jarayondagi nosozliklarni aniqlash uchun ma'lumotlarga asoslangan ko'plab FDD modellari ishlab chiqilgan. Biroq, modellarning aksariyati yomon tushuntirishga ega qora quti modellari. Ushbu maqolada murakkab kimyoviy jarayonlarning xato diagnostikasi uchun jarayon topologiyasi konvolyutsion tarmoq (PTCN) modeli taklif etiladi. Benchmark Tennessee Eastman jarayoni bo'yicha o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, PTCN tarmoq tuzilmasi soddalashtirilgan va o'quv ma'lumotlari va hisoblash resurslari miqdoriga kamroq tayangan holda nosozliklarni tashxislash aniqligini yaxshilagan. Shu bilan birga, modelni yaratish jarayoni ancha oqilona bo'ladi va modelning o'zi ancha tushunarli bo'ladi.

1. Kirish

Zamonaviy kimyoviy jarayonlar, odatda, juda ko'p turli birlik operatsiyalariga ega bo'lgan murakkab va integratsiyalashgan tizimlardir. Taqsimlangan boshqaruv tizimlari (DCS) ostida kimyoviy jarayonlar ko'p vaqtlarda barqaror ishlashi mumkin. Lekin har doim g'ayritabiiy hodisalar yoki texnologik nosozliklar yuzaga kelishi mumkin bo'lgan potentsial xavf mavjud bo'lib, bu DCS nazorat qilish imkoniyatidan tashqarida va operatorlarning aralashuvini talab qiladi. Agar jarayonlarni normal ishlashga qaytarish bo'yicha choralar ko'rilmasa, ular kutilmaganda hayot va mulkni yo'qotish bilan og'ir baxtsiz hodisalarga olib kelishi mumkin.

Kimyoviy jarayonlarning g'ayritabiiy vaziyatlarni boshqarish (ASM) ushbu g'ayritabiiy hodisalar yoki nosozliklarni bartaraf etish va jarayonlarni keyingi baxtsiz hodisalardan oldini olish uchun juda muhimdir. (Venkatasubramanian va boshq., 2003) ASMni nazorat nazoratining asosiy komponenti sifatida belgilagan. ASM g'ayritabiiy hodisani o'z vaqtida aniqlash, sabab sabablarini aniqlash va keyin jarayonni normal,

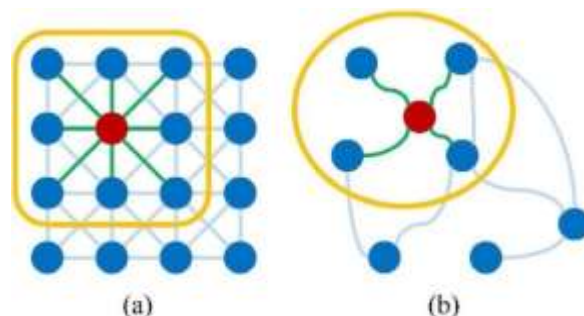
xavfsiz, ish holatiga qaytarish uchun tegishli qarorlar va harakatlarni qabul qilishni o'z ichiga oladi. (Arunthavanatan va boshq., 2020a) nosozliklarni aniqlash va diagnostika (FDD), xavfni baholash (RA) va ASM o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni tahlil qilish uchun xavfsizlik nuqtai nazaridan asosni taklif qildi. Ushbu doirada, FDD mumkin bo'lgan xavfni aniqlash uchun dastlabki qadamdir.

Yuqorida aytib o'tilgan afzalliklarga qaramay, ma'lumotlarga asoslangan nosozliklarni tashxislash modellari hali ham takomillashtirish uchun joy mavjud. Birinchidan, bu modellar asosan sof ma'lumotlarga asoslanadi va hech qanday jarayon bilimlaridan foydalanmaydi. Jarayondan qo'shimcha ma'lumotga ega bo'lmasa, sof ma'lumotlarga asoslangan modellar yuqori erkinlik darajasiga ega bo'lib, model parametrlari ko'proq bo'ladi. Haddan tashqari murakkab modellar, odatda, ortiqcha to'ldirish muammosidan aziyat chekadi (Lever va boshq., 2016). Modelni yaratish jarayoni jarayon haqidagi bilimlarning ko'rsatmalarisiz oqilona emas. Ikkinchidan, bu sof ma'lumotlarga asoslangan modellar tushuntirishga ega emas va hali ham odamlar uchun qora quti bo'lib, ularni haqiqiy sanoat jarayonlarida qo'llashni cheklaydi. Uchinchidan, o'qitish jarayoni va ushbu modellarni onlayn qo'llash hisoblash uchun ko'proq resurslarni sarflashga moyildir.

Mashinani o'rganish texnikasi bu yillarda tez rivojlanayotganligi sababli, Ko'pgina tadqiqotchilar o'rtasida sanoat jarayonlari uchun mustahkam va kengaytiriladigan echimlarni yaratish uchun ma'lumotlar tahlili vositalarini fundamental bilimlar bilan birlashtirish uchun innovatsiyalar zarurligi haqida konsensus mavjud (Qin va Chiang, 2019). Mashinani o'rganishning hozirgi holati ko'proq alkimyoga, maxsus usullar to'plamiga o'xshaydi. Ammo bu cheklov faqat ma'lumotlarga asoslangan modellarga ba'zi qat'iylik va tartib-intizomni o'rnatishi mumkin bo'lgan birinchi printsiplar bilimlaridan foydalanish bilan qoplanishi mumkin (Venkatasubramanian, 2019). (Bikmuxametov va Jäschke, 2020) mashinani o'rganish va texnologik muhandislik fizikasini birlashtirish orqali ma'lumotlarga asoslangan modellarning aniqligi va tushuntirilishini oshirishning 5 usulini taklif qildi. Biroq, bu usullar asosan injiniring yoki ishlab chiqilgan modellar va birinchi printsipl modellarini o'rtasidagi nomuvofiqlikdan foydalangan. Mashinani o'rganish modellarini yaratish bosqichida jarayon bilimlaridan foydalanilmadi.

Grafik neyron tarmog'i (GNN) chuqur o'rganish modelining bir turi yaqinda tadqiqotchilarning e'tiborini tortgan grafik domenida yoki evklid bo'lmagan fazoda ma'lumotlarni qayta ishlashga qodir. Matematikada grafik tugunlar va qirralardan tashkil topgan ma'lumotlar strukturasi bir turidir. Bu tugunlar o'zaro munosabatlarini tasvirlash uchun qirralar bilan bog'langan. Evklid fazosi va grafik sohasidagi ma'lumotlarning farqlari 1-rasmida ko'rsatilgan. GNN keng ko'lamli ilovalarga ega, chunki grafik domenidagi ma'lumotlar real dunyoda tuzilgan ma'lumotlarga qaraganda ancha keng tarqalgan. GNNlar orasida grafik konvolyutsion

tarmoq (GCN) (Kipf va Welling, 2017) chuqur o'rganish sohasida keng o'rganilgan. GCN grafik konvolyutsiyalarini axborotni tarqatish orqali aniqlaydi. Bu to'plangan tugun xususiyatlariga ega umumiy ma'lumotlar matritsasini va grafikdagi tugunlarning ulanishini tavsiflovchi qo'shimcha qo'shni matritsani kiritishni talab qiladi. GCN-dagi grafik konvolyutsion qatlam ichida grafikdagi tugun o'zining qo'shni tugunlaridan xususiyat ma'lumotlarini jamlaydi (Wu va boshq., 2020). Yig'ilgan grafik konvolyutsion qatlamlari GCN ga oldindan belgilangan tarzda grafik qirralari bo'ylab tugunlar haqidagi ma'lumotlarni tarqatish imkonini beradi. Bu GCN haqida ma'lumot olishga yordam beradi



1-rasm. (a) Evklid fazosi va (b) grafik sohasidagi ma'lumotlar va konvolyutsiya operatsiyalari.

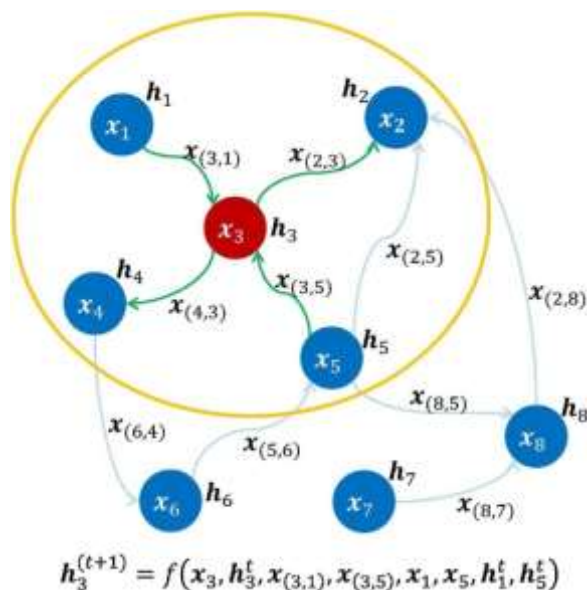
Ushbu ishning asosiy hissalarini quyidagicha umumlashtiriladi:

- (1) GCN asosida jarayon topologiyasi konvolyutsion tarmoq (PTCN) nomli xato diagnostikasi modeli taklif qilingan. PTCN talab qiladigan kimyoviy jarayonlardan grafiklarni qanday yaratishni tasvirlash uchun batafsil qadamlar berilgan.
- (2) PTCN-ga asoslangan nosozlik diagnostikasi usuli amaliy qo'llash uchun mo'ljallangan. TE jarayoni bo'yicha amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, PTCN nosozliklarni tashxislash samaradorligini oshirdi va model parametrlari, o'quv ma'lumotlari va hisoblash resurslariga bo'lgan ishonchni kamaytirdi.

2. Grafik konvolyutsion tarmoq

So'nggi yillarda konvolyutsion neyron tarmoqlari (CNN) mashinani o'rganish sohasidagi tadqiqotchilar tomonidan katta e'tiborga sazovor bo'ldi. CNN tasvirlarni tasniflash (Krizhevskiy va boshq., 2017) va ob'ektni aniqlash (Redmon va boshq., 2016) kabi ko'plab vazifalarda ko'plab an'anaviy algoritmlarga qaraganda ancha yaxshi ishladi. Biroq, CNN tasvirlar kabi Evklid makonidagi ma'lumotlarni qayta ishlashda yaxshi, lekin ma'lumotlar Evklid bo'lmagan makonda tasvirlangan grafiklar yoki tarmoqlar kabi vazifalarni deyarli bajara olmaydi (Wu va boshq., 2020). 1-rasmda Evklid fazosi va grafik sohasida ifodalangan ma'lumotlar va konvolyutsion operatsiyalar o'rtasidagi farqlar ko'rsatilgan. Amaliy qo'llashda grafik yoki tarmoq sifatida ko'rsatilgan yarim tizimli ma'lumotlar ko'proq tarqalgan. Masalan, ba'zi ijtimoiy media platformalarida foydalanuvchilar o'rtasidagi munosabatlarni grafik sifatida ko'rsatish mumkin. Kimyoviy tadqiqotlarda molekulyar struktura formulasini grafik sifatida ham ko'rish mumkin, bu erda tugunlar atomlarni, qirralari esa kimyoviy

bog'lanishlarni ifodalaydi. Grafik domenidagi ma'lumotlarni qayta ishlash uchun grafik neyron tarmoqlari (GNN) ixtiro qilindi (Wu va boshq., 2020), ular chuqur o'rganish sohasidagi ko'plab tadqiqotchilarning qiziqishlarini jalb qildi.



2-rasm. Yo'naltirilgan grafikda fazoga asoslangan konvolyutsion operatsiya.

GCN ning grafik konvolyutsion ishlashi umumiy fazoga asoslangan ConvGNNlar kabi xabarlarni uzatish va yig'ishning ikki bosqichiga ega. Shu nuqtai nazardan, GCN spektral filtr birinchi darajaga yaqinlashganda, spektral va fazoga asoslangan ConvGNNlar o'rtasidagi bog'liqlik sifatida qaralishi mumkin (Chjan va boshq., 2020b). Spektral va fazoga asoslangan grafik konvolyutsiyalar ma'lum sharoitlarda ekvivalent bo'ladi, ammo fazoga asoslangan bo'lganlar an'anaviy CNN tadqiqot yutuqlaridan foyda olishlari mumkin. Spektrga asoslangan ConvGNN-larga qaraganda fazoviy-asoslangan ConvGNN-larni o'rganuvchi ko'proq tadqiqotlar buning sababi bo'lishi mumkin.

3. PTCN asosidagi nosozliklarni aniqlash usuli

3.1 Grafik va kimyoviy jarayonlar topologiyasi

Matematikada topologiya tarmoq ichida tugunlar va qirralarning qanday joylashishini tavsiflaydi. Ushbu maqolada kimyoviy jarayon topologiyasi jarayonning turli qismlari qanday joylashishini tasvirlash uchun ishlatiladi. Kimyoviy jarayonlarda birlik operatsiyalari va oqimlar quvurlar bilan jismoniy bog'langan. Boshqaruv zanjirlari jarayon o'zgaruvchilari va manipulyatsiya qilingan o'zgaruvchilarni sensorlar, boshqaruvchilar, aktuatorlar va boshqalar bilan bog'laydi. Jarayon topologiyasi turli xil o'zgaruvchilar o'rtasidagi munosabatlar haqida katta hajmdagi bilimlarni o'z ichiga oladi, chunki ular quvurlar yoki signal uzatish simlari bilan

jismoniy bog'langan. Jarayon topologiyasi haqidagi ma'lumotlardan foydalanish uchun avvalo jarayonni grafikga aylantirish kerak.

Kimyoviy jarayonning grafikasini yaratish uchun P&ID turli birlik operatsiyalari, oqimlar va mos keladigan o'lchovlarni aniqlash uchun talab qilinadi. Boshqaruv halqalarini ham o'rganish kerak jarayon o'zgaruvchilari, manipulyatsiya qilingan o'zgaruvchilar, datchiklar, boshqaruvchilar, aktuatorlar va hokazolarni tasdiqlash uchun. Kimyoviy jarayonlardan grafiklarni qanday qurishni tasvirlash uchun batafsil qadamlar quyida keltirilgan. Yaxshiroq tushunish uchun, misol sifatida, 3-rasmda Tennessi Eastman jarayonidan tuzilgan grafikning pastki grafigi ko'rsatilgan. Va to'liq grafik 4.2-bo'limda 7-rasmda ko'rsatilgan.

1-qadam: Bizni tashvishga soladigan barcha birlik operatsiyalari va oqimlarini aniqlang. Har bir birlik ishlashi va oqim uchun tugunlarni yarating. Bu tugunlar mos ravishda birlik ish tugunlari va oqim tugunlari deb ataladi.

2-qadam: 1-bosqichda ushbu birlik operatsiyalari va oqimlarining barcha mos o'lchovlarini aniqlang. Har bir o'lchov uchun tugunlarni yarating. Ushbu tugunlar o'lchov tugunlari deb ataladi.

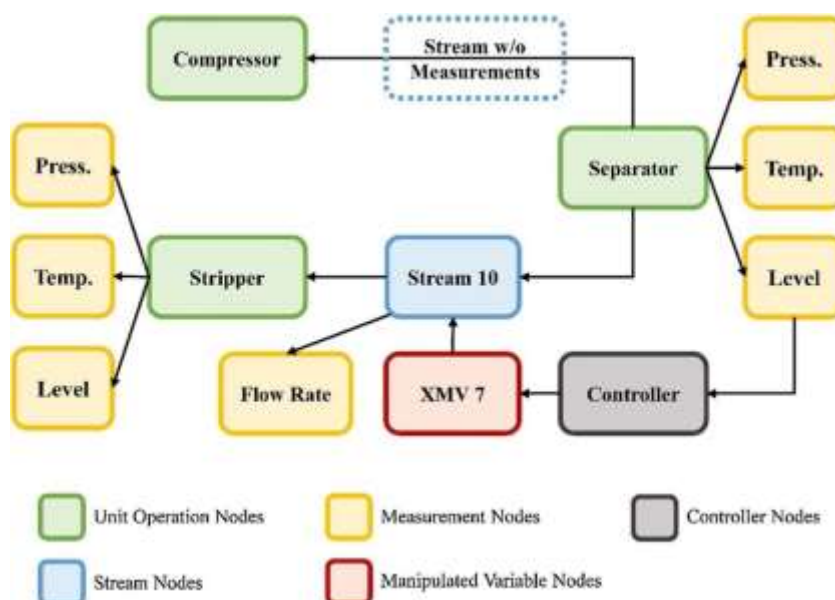
3-qadam: Har bir birlik ish tugunidan yoki oqim tugunidan mos keladigan o'lchov tuguniga yo'naltirilgan qirralarni yarating.

4-qadam: Har bir oqim tugunida yuqori oqim blokining ish tugunidan oqim tuguniga yo'naltirilgan chekka va oqim tugunidan quyi oqim blokining ish tuguniga yo'naltirilgan chekka yarating.

5-qadam: Tegishli boshqaruv tsikllarining barcha jarayon o'zgaruvchilari va manipulyatsiya qilingan o'zgaruvchilarini aniqlang. Jarayon o'zgaruvchilari 2-bosqichdagi o'lchov tugunlariga kiritilgan. Har bir manipulyatsiya qilingan o'zgaruvchi uchun tugunlar yarating. Ushbu tugunlar manipulyatsiya qilingan o'zgaruvchan tugun deb ataladi. Har bir nazorat davri uchun boshqaruvchi tugun deb nomlangan mavhum tugun yarating.

6-qadam: Boshqaruv zanjirida mos keladigan o'lchov tugunidan boshqaruvchi tugunga yo'naltirilgan chekka va boshqaruvchi tugunidan mos keladigan boshqariladigan o'zgaruvchan tugunga yo'naltirilgan chekka yarating.

7-qadam: Grafikning soddaligi uchun mos keladigan o'lchovlarga ega bo'lmagan oqim tugunlarini o'chiring va keyin to'g'ridan-to'g'ri yo'naltirilgan chetiga ega bo'lgan yuqori va quyi oqim bloklari ish tugunlari.



3-rasm. Tennessi Eastman jarayonidan tuzilgan grafik subgrafi.

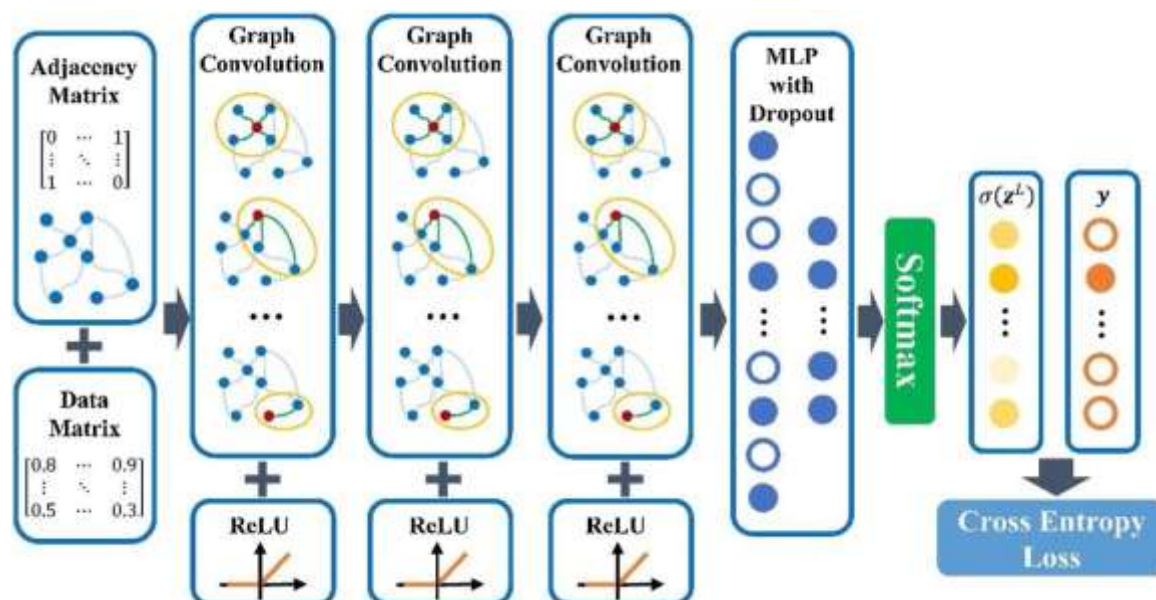
PTCN dagi grafik asosan turli o'zgaruvchilar orasidagi fizik munosabatlarni tasvirlash uchun ishlatiladi. O'zgaruvchilar o'rtasidagi aniq bog'liqlikni modellashtirish niyatida emas. Jismoniy bog'lanishlar o'zgaruvchilar o'rtasidagi bog'liqlikni aniq modellashtira olmasa ham, bog'liqlik jismoniy bog'lanishlarga asoslangan bo'lishi kerak. O'zgaruvchilar o'rtasidagi aniq munosabatlar chuqur o'rganish paradigmasidan keyingi ma'lumotlardan o'rganiladigan o'rganiladigan tarmoq parametrlari bilan belgilanadi. Shunday qilib, PTCN-dagi grafik o'zgaruvchilar orasidagi munosabatlar uchun bo'sh cheklovlar sifatida ishlaydi.

Ma'lumotlar tuzilmalari va ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash

Odatda, ma'lumotlarga asoslangan nosozliklarni tashxislash usullarida o'quv ma'lumotlar to'plamidagi ma'lumotlar namunasi n ta kuzatish o'zgaruvchisidan iborat.

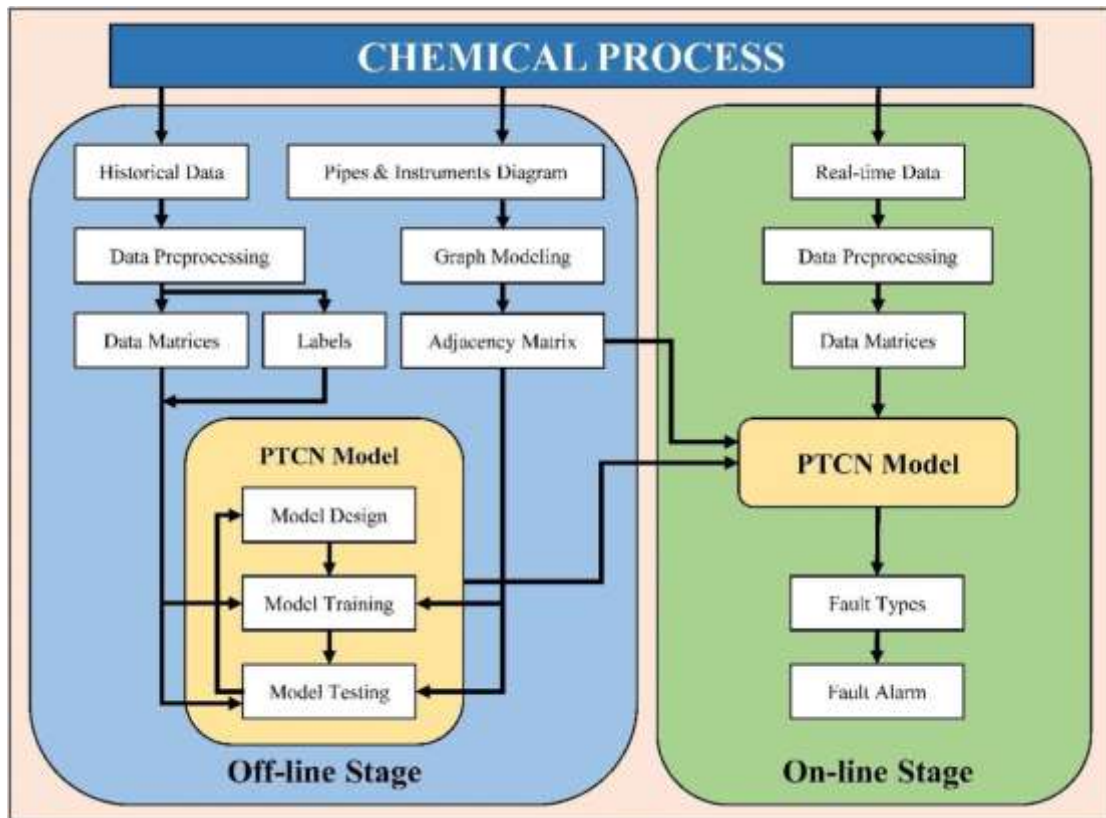
3.2 Nosozliklarni aniqlash uchun PTCN modeli

Nosozlik diagnostikasi uchun taklif etilayotgan model ushbu maqolada jarayon topologiyasi konvolyutsion tarmoq (PTCN) deb nomlanadi va strukturasi 4-rasmda ko'rsatilgan. PTCN model nomi kimyoviy moddadan tuzilgan grafikda konvolyutsion operatsiyalar grafigi qo'llanilishidan kelib chiqadi. jarayon topologiyasi. PTCN asosan stacked grafik konvolyutsion qatlamlardan va ko'p qatlamli perseptron klassifikatoridan iborat. Grafik konvolyutsion qatlami tenglama kabi to'liq grafik konvolyutsiya operatsiyasini o'z ichiga oladi. (9).

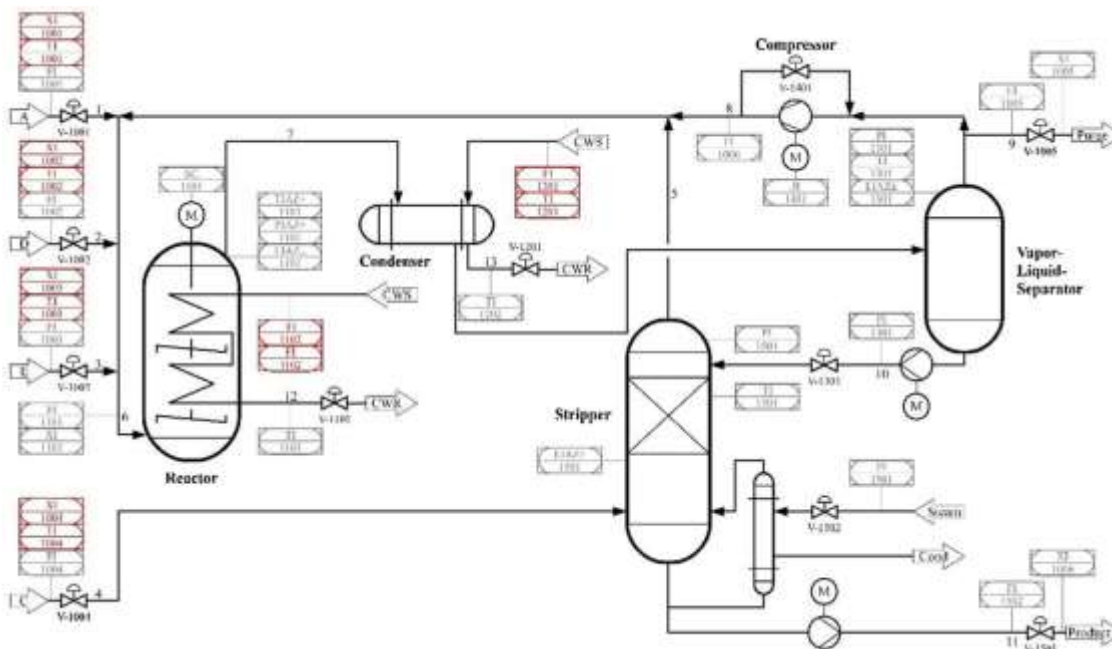


4-rasm. PTCN modeli tuzilishi.

Grafik konvolyutsion qatlam ichida grafikdagi har bir tugun o'zining qo'shni tugunlaridan xususiyat ma'lumotlarini jamlaydi. Kimyoviy jarayon topologiyasiga grafik konvolyutsiyalar qo'llanilganda, ma'lumotlar jismoniy ulanishlar bo'ylab jarayonning turli qismlari o'rtasida tarqaladi. Modelni yaratishda kimyoviy jarayon topologiyasi haqidagi bilimlardan shunday foydalanish mumkin. Sof ma'lumotlarga asoslangan modellar bilan solishtirganda, PTCN xususiyatini ajratib olish odamlar uchun tushunarliroq va oqilona bo'ladi, chunki grafik konvolyutsiyalar fizikaga asoslangan kimyoviy jarayon.



5-rasm. PTCN-ga asoslangan nosozlik diagnostikasi usulining asosi.



6-rasm. Qayta ko'rib chiqilgan jarayon modelining P&ID; qizil rangdagi qo'shimcha o'lchovlar (Bathelt va boshq., 2015).

4. Amaliy ish: Tennessee Eastman jarayoni

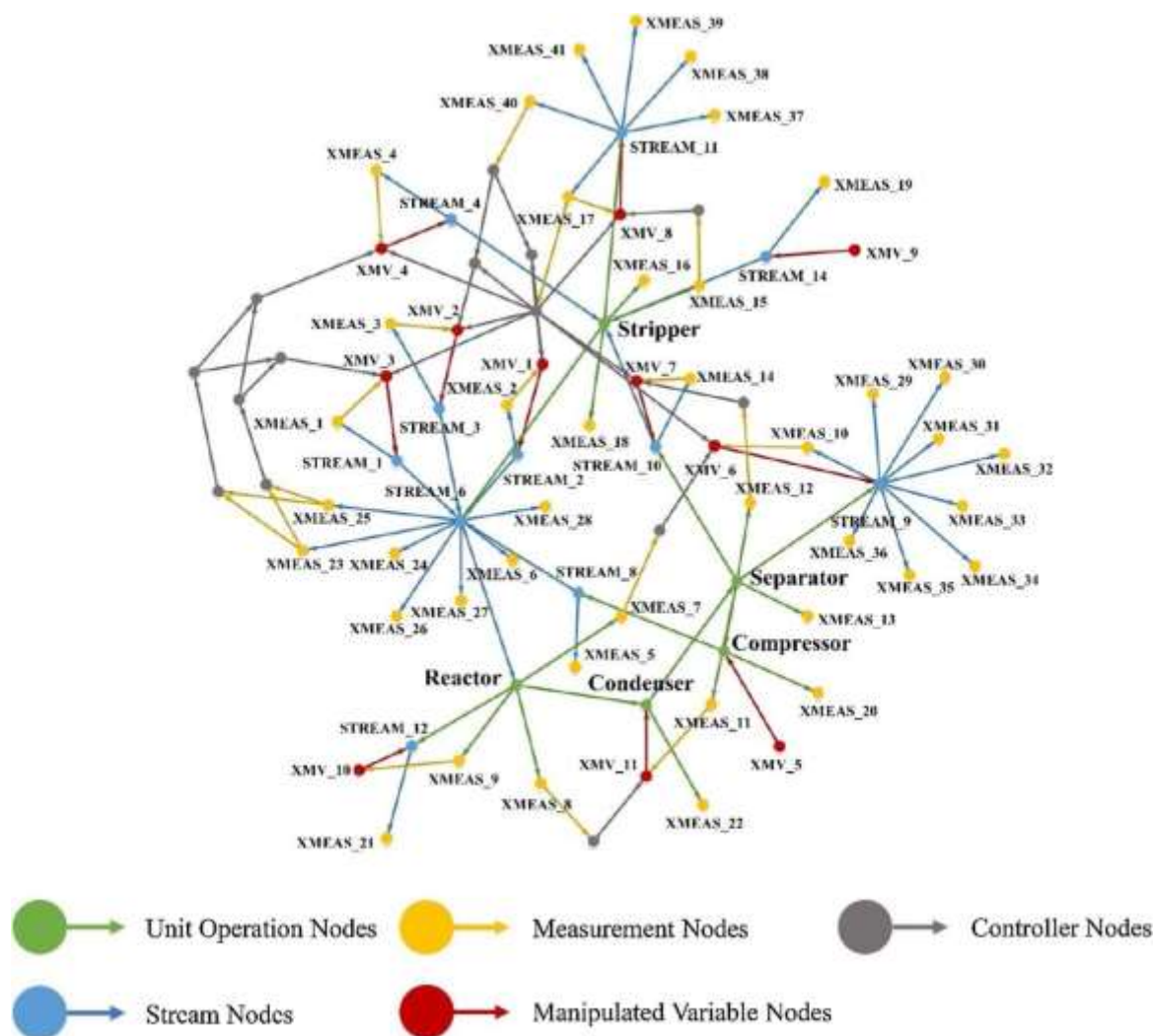
Kirish

Tennessi Eastman (TE) jarayoni ushbu maqolada taklif qilingan PTCN modelining afzalliklarini ko'rsatish uchun benchmark sifatida ishlatiladi. (Downs va Vogel, 1993) birinchi bo'lib jarayonni boshqarish texnologiyalarini sinash uchun AQShning Tennessi shtatidagi Eastman Chemical kompaniyasining haqiqiy sanoat jarayoni asosida o'zgartirilgan TE jarayonini joriy qildi. Keyinchalik kimyoviy jarayonlarni o'rganishda turli xil algoritmlarni tekshirish yoki solishtirish uchun platforma sifatida ishlab chiqilgan. Jarayon modeli birlikning ishlashidagi chiziqli bo'lmagan munosabatlarni va moddiy va energiya balanslarini tavsiflaydi. (Riker, 1995) optimal barqaror holat operatsiyalarini o'rgandi va (Lorens Riker, 1996) nashr etilganidan ko'p o'tmay TE jarayonining markazlashtirilmagan boshqaruv tizimini ishlab chiqdi. Yigirma yil o'tgach, (Bathelt va boshq., 2015) turli xil hal qiluvchilar bilan nomuvofiq hisoblash natijalari uchun TE jarayoni modelini qayta ko'rib chiqdi va jarayon modelini <https://depts.washington.edu/control/LARRY/TE/download.html> manzilida mavjud bo'lgan qo'shimcha jarayon o'lchovlari va ish vaqti natijalari bilan kengaytirdi. Jarayon asosan beshta birlik operatsiyalaridan iborat: reaktor, kondensator, bug 'suyuqligini ajratuvchi, qayta ishlash kompressori va mahsulotni ajratib olish. Qayta ko'rib chiqilgan jarayon modelining P&ID 6-rasmda ko'rsatilgan.

TE jarayon topologiyasidan tuzilgan grafik

3.2-bo'limda aytib o'tilganidek, PTCN kirish ma'lumotlar tuzilmalarining bir qismi sifatida qo'shnilik A matritsasini talab qiladi. Qo'shnilik matritsasini yaratish uchun birinchi navbatda TE jarayoni topologiyasi grafik sifatida shakllantirilishi kerak. 6-rasmdagi P&ID diagrammasi va (Lorens Riker, 1996) tomonidan ishlab chiqilgan markazlashtirilmagan boshqaruv tizimiga murojaat qilgan holda, TE jarayoni topologiyasidan grafik yaratish uchun 3.1-bo'limda aytib o'tilgan bosqichlar bajarildi. Grafik ushbu maqolada TE grafigi GTE deb nomlandi. To'liq TE grafigi GTE 7-rasmda ko'rsatilgan, u 82 tugun va 113 chekkadan iborat. Keyin TE grafigi GTE tenglama bilan mos keladigan ATE $R_{82 \times 82}$ qo'shnilik matritsasiga aylantirildi. (17) PTCN o'quv jarayonida keyingi foydalanish uchun.

3.2-bo'limda aytib o'tilganidek, V tugunlari to'plami nafaqat TE jarayonida qayd etilgan o'lchovlar va manipulyatsiya qilingan o'zgaruvchilarni, balki kuzatilmaydigan ba'zi mavhum tugunlarni ham o'z ichiga oladi. Ammo PTCN modelida grafikdagi har bir tugun xabarni uzatish talabini qondirish uchun tegishli tugun xususiyatiga ega. TE jarayonida kuzatilmaydigan mavhum tugunlar uchun tugun xususiyatlari muayyan ishga tushirish texnologiyalari bilan ishga tushirilishi kerak.



7-rasm. To'liq TE grafifi.

Tarmoq parametrlari, hisoblash narxi va ta'lim ma'lumotlariga bo'lgan talab Jarayon topologiyasidan foydalanishning afzalliklarini o'rganish uchun o'qitish va sinovdan o'tkazishda vaqt sarfiga, tarmoq parametrlari soniga va o'quv ma'lumotlariga bo'lgan talabga e'tibor berish muhimdir. O'qitish va sinovdan o'tkazish uchun sarflanadigan vaqt PTCN samaradorligi bilan bog'liq. Amaliy ilovalarda PTCN qanchalik tez xulosa chiqarishi mumkin bo'lsa, mavjud nosozliklarni aniqlash uchun kamroq vaqt ketadi. Tarmoq parametrlarining soni modelning murakkabligini belgilaydi. Bu hisoblash resurslarini iste'mol qilish va kerakli miqdordagi o'quv ma'lumotlari bilan bog'liq. Oddiy model har doim afzalroqdir, chunki biz o'qitish uchun olishimiz mumkin bo'lgan nosozlik ma'lumotlari odatda haqiqiy sanoat ilovalarida cheklangan.

5. Xulosa

Ushbu maqolada kimyoviy jarayonlarning noto'g'ri diagnostikasi uchun jarayon topologiyasi konvolyutsion tarmoq (PTCN) modeli taklif etiladi. Sof ma'lumotlarga asoslangan modellardan farqli o'laroq, PTCN kimyoviy jarayon topologiyasi haqidagi

bilimlardan foydalanadi. Jarayon topologiyasi turli jarayon o'zgaruvchilari o'rtasidagi munosabatlarni aks ettiruvchi grafikga aylantiriladi. Grafik jarayon bilimlarini modelga integratsiya qilish uchun ko'prik rolini o'ynaydi.

PTCN samaradorligini ko'rsatish uchun uni TE jarayonining benchmarkiga qo'llash misol sifatida ishlatiladi. TE jarayon topologiyasi birinchi navbatda TE grafigi deb nomlangan yo'naltirilgan grafikga aylantiriladi. Grafikdagi tugunlarni va ularning ulanishini tavsiflovchi mos keladigan qo'shnilik matritsasi o'rnatiladi. O'quv va sinov ma'lumotlari TE jarayonining simulyatsiya modelini ishga tushirish orqali yaratiladi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, PTCN ning ACR ko'rsatkichi 0,9392 ga etadi, bu CNN-ga asoslangan, RNN-ga asoslangan, Bayes va SOM-ga asoslangan modellar kabi mavjud nosozliklarni tashxislash modellaridan yuqori.

PTCN atigi 0,597 million tarmoq parametrlariga ega, bu DCNN sonining to'rtidan biridan kamroqdir (Wu va Zhao, 2018). Bu o'qitish va sinov jarayonlarida kamroq xotira sarfi va vaqt sarfini anglatadi. Jarayon topologiyasi haqidagi bilimlar bilan birlashtirilgan PTCN modeli o'quv ma'lumotlariga kamroq tayanadi. Turli xil miqdordagi ma'lumotlar bilan o'qitilgan, PTCN ning sinov ACR ko'rsatkichi har doim DCNN ga qaraganda taxminan 1% yuqori. Sinov ACR ni 0,93 ga olish uchun PTCN DCNN uchun zarur bo'lgan o'quv ma'lumotlarining atigi 54 foizini talab qiladi.

Jarayon xavfsizligi nuqtai nazaridan PTCN modeli RA va ASMDa qo'llanilishi mumkin. ASMDa dastlabki qadam sifatida PTCN modeli real vaqtda kimyoviy jarayonlarning ish holatini kuzatishi mumkin. Nosozlik sodir bo'lgandan so'ng, model bir vaqtning o'zida aniqlash va tashxisni yakunlaydi va har xil turdagi nosozliklar imkoniyatlarini beradi. Ushbu imkoniyatlardan xavfni miqdoriy dinamik baholash uchun foydalanish mumkin. PTCN va xavfni miqdoriy baholash modellarining kombinatsiyasi jarayonlarni normal holatga qaytarish uchun yakuniy qadam bo'lgan ASM bo'yicha qaror qabul qilish uchun asos bo'lishi mumkin.

Kimyoviy jarayon topologiyasidan olingan bilimlar diagnostika aniqligi va o'qitish ma'lumotlari va hisoblash resurslariga qo'yiladigan talablar nuqtai nazaridan ma'lumotlarga asoslangan modelning ishlashini yaxshilashga yordam beradi. Bundan tashqari, PTCN modelining xususiyatlarni ajratib olish jarayoni boshqa ma'lumotlarga asoslangan nosozliklarni tashxislash modellariga qaraganda ancha oqilona va tushunarli, chunki u jarayon topologiyasi ko'rsatmalariga amal qiladi. Kelgusi tadqiqot ishi PTCN ning xulosa chiqarish jarayonini tahlil qilishga va PTCN modeli uchun tushuntirishni kuchaytirishga qaratilgan.

Adabiyotlar:

1. Amin, M.T., Khan, F., Ahmed, S., Imtiaz, S., 2020. A novel data-driven methodology for fault detection and dynamic risk assessment. Can.J.Chem.Eng.98,2397–2416, <http://dx.doi.org/10.1002/cjce.23760>.

2. Arunthavanathan, R., Khan, F., Ahmed, S., Imtiaz, S., 2020a. An analysis of process fault diagnosis methods from safety perspectives. *Comput.Chem.Eng.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.107197>, 107197.
3. Arunthavanathan, R., Khan, F., Ahmed, S., Imtiaz, S., Rusli, R., 2020b. Fault detection and diagnosis in process system using artificial intelligence-based cognitive technique. *Comput. Chem. Eng.* 134, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106697>, 106697.
4. Bathelt, A., Ricker, N.L., Jelali, M., 2015. Revision of the Tennessee eastman process model. *IFAC PapersOnLine* 48, 309–314, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.08.199>.
5. Bikmukhametov, T., Jäschke, J., 2020. Combining machine learning and process engineering physics towards enhanced accuracy and explainability of data-driven models. *Comput. Chem. Eng.* 138, 106834, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106834>.
6. Khan, F., Rathnayaka, S., Ahmed, S., 2015. Methods and models in process safety and risk management: past, present and future. *Process.Saf.Environ.Prot.* 98, 116–147, <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2015.07.005>.