KO‘P ZONALI TEXNOLOGIK OBYEKTLARDA HARORATNI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING ZAMONAVIY HOLATI VA RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI

Nasriyev Shaxzod Asliddin o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti magistranti
https://doi.org/10.5281/zenodo.24111117

Annotatsiya: Maqolada ko‘p zonali texnologik obyektlarda haroratni avtomatik boshqarish tizimlarining shakllanishi, amaldagi texnik yechimlari va rivojlanish yo‘nalishlari tahlil qilinadi. Bunday obyektlarda har bir texnologik zona uchun alohida harorat rejimi belgilanishi bilan birga, zonalar o‘rtasida issiqlik almashinuvi sodir bo‘lishi boshqaruv masalasini murakkablashtiradi. Maqolada releli boshqaruv, PID-rostlash, markazlashtirilgan va taqsimlangan boshqaruv arxitekturalari, modelga asoslangan bashoratli boshqaruv hamda PLC–SCADA yechimlarining imkoniyatlari ko‘rib chiqiladi. Tahlil asosida harorat aniqligi, zonalararo o‘zaro ta’sir, energiya sarfi, o‘lchash ishonchliligi va sanoat boshqaruv tizimlari xavfsizligi bilan bog‘liq muammolar aniqlanadi. Ko‘p zonali obyektlar uchun lokal rostlashni umumiy monitoring va koordinatsiyalangan boshqaruv bilan uyg‘unlashtirish istiqbolli yondashuv sifatida asoslanadi.
Kalit so‘zlar: Ko‘p zonali texnologik obyekt, haroratni avtomatik boshqarish, issiqlik almashinuvi, PID-regulyator, ko‘p o‘zgaruvchili boshqaruv, bashoratli boshqaruv, PLC, SCADA, energiya samaradorligi.

Аннотация: В статье анализируются процессы формирования систем автоматического управления температурой в многозонных технологических объектах, существующие технические решения и перспективные направления их развития. В таких объектах, наряду с установлением индивидуального температурного режима для каждой технологической зоны, наличие теплообмена между зонами усложняет задачу управления. В статье рассматриваются возможности релейного управления, ПИД-регулирования, централизованных и распределённых архитектур управления, модельно-прогнозирующего управления, а также решений на основе PLC–SCADA. На основе проведённого анализа выявлены проблемы, связанные с точностью поддержания температуры, взаимным влиянием зон, энергопотреблением, надёжностью измерений и безопасностью промышленных систем управления. В качестве перспективного подхода для многозонных объектов обосновывается сочетание локального регулирования с общим мониторингом и координированным управлением.
Ключевые слова: Многозонный технологический объект, автоматическое управление температурой, теплообмен, ПИД-регулятор, многопеременное управление, прогнозирующее управление, PLC, SCADA, энергоэффективность.

Kirish. Sanoat ishlab chiqarishida harorat texnologik jarayonning borishi, olinadigan mahsulot sifati va uskunalarning ish rejimini belgilovchi asosiy parametrlar qatoriga kiradi. Metallga termik ishlov berish, keramika va qurilish materiallarini kuydirish, polimerlarni qayta

ishlash, oziq-ovqat mahsulotlarini quritish hamda kimyoviy jarayonlarda haroratning belgilangan oraliqda saqlanishi texnologik talab hisoblanadi. Ayrim qurilmalarda mahsulot yoki xomashyo ketma-ket bir nechta issiqlik zonalaridan o‘tadi. Har bir zonada turli harorat qiymati talab qilinishi sababli bunday qurilmalarni yagona oddiy rostlash konturi bilan boshqarish yetarli bo‘lmaydi.

Ko‘p zonali texnologik obyekt deganda bir nechta issiqlik zonasiga ega bo‘lgan, har bir zonasining harorati alohida o‘lchanishi va boshqarilishi mumkin bo‘lgan, shu bilan birga zonalar o‘zaro issiqlik yoki texnologik jihatdan bog‘langan qurilma tushuniladi. Sanoat pechlari, ko‘p kamerali quritish qurilmalari, ekstruderlarning isitish silindrlari va termik ishlov berish liniyalari bunga misol bo‘la oladi. Bunday obyektlarda bir zonaga berilgan issiqlikning bir qismi qo‘shni zonaga tarqalishi, mahsulotning harakati esa zonalar orasida qo‘shimcha issiqlik almashinuvini yuzaga keltirishi mumkin. Shu sababli har bir zonani mustaqil boshqarish qulay bo‘lsa-da, umumiy tizimdagi o‘zaro ta’sirni e’tiborsiz qoldirish rostlash sifatini pasaytirishi mumkin.[1]

Mavzuning dolzarbligi faqat belgilangan haroratni ushlab turish bilan cheklanmaydi. Zamonaviy ishlab chiqarishda haroratning fazoviy bir tekisligi, jarayonning takrorlanuvchanligi, energiya sarfining kamaytirilishi va uskunaning xavfsiz ishlashi ham muhim mezonlardir. Haroratning ortiqcha oshishi mahsulotning buzilishi yoki uskunaning shikastlanishiga, yetarli bo‘lmasligi esa texnologik jarayonning to‘liq amalga oshmasligiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun ko‘p zonali obyektlarda boshqaruv tizimi o‘lchash, rostlash, nazorat, avariya signalizatsiyasi va ma’lumotlarni qayd etish vazifalarini o‘zaro muvofiqlashtirishi lozim.

Ushbu maqolaning maqsadi ko‘p zonali texnologik obyektlarda haroratni avtomatik boshqarishning zamonaviy usullarini ilmiy manbalar asosida tahlil qilish, ularning qo‘llanish shartlari va cheklovlarini aniqlash hamda istiqbolli texnik yechimlarni asoslashdan iborat. Maqola tahliliy xarakterga ega bo‘lib, unda muayyan qurilma bo‘yicha tajriba natijalari keltirilmaydi; asosiy e’tibor mavjud ilmiy yondashuvlarni taqqoslash va keyingi amaliy tadqiqot uchun muammolarni belgilashga qaratiladi.

ASOSIY QISM

Ko‘p zonali issiqlik obyektining dinamikasi issiqlik energiyasining zonada to‘planishi, atrof-muhitga uzatilishi va qo‘shni zonalar bilan almashinuvi orqali belgilanadi. Har bir zona ma’lum issiqlik sig‘imiga ega bo‘lib, uning harorati isitkich quvvati, issiqlik yo‘qotishlari, tashqi muhit harorati va qo‘shni zonalardan keladigan issiqlik oqimlariga bog‘liq. Shu jihatdan obyektni bir nechta o‘zaro bog‘langan issiqlik sig‘imlari va issiqlik qarshiliklaridan tashkil topgan dinamik tizim sifatida ifodalash mumkin. Ko‘p zonali harorat tizimlarini modellashtirishda issiqlik sig‘imi–qarshilik (RC) yondashuvi hamda zonalar orasidagi energiya oqimlarini ifodalovchi tenglamalardan foydalaniladi.[2]

Soddalashtirilgan ko‘rinishda i-zona uchun issiqlik balansi quyidagicha yozilishi mumkin: $C_i \cdot dT_i/dt = Q_i - \alpha_i(T_i - T_a) + \Sigma_j K_{ij}(T_j - T_i)$. Bu yerda C_i — zonaning ekvivalent issiqlik sig‘imi; T_i

[1] Koeln J., Keating B., Alleyne A., Price C., Rasmussen B. P. Multi-zone temperature modeling and control. In: Advances in Industrial Control. Springer, 2018. P. 139–166. DOI: 10.1007/978-3-319-68462-8_6.

[2] Koeln J., Keating B., Alleyne A., Price C., Rasmussen B. P. Multi-zone temperature modeling and control. In: Advances in Industrial Control. Springer, 2018. P. 139–166.

— zona harorati; Q_i — zonaga uzatilayotgan issiqlik quvvati; α_i — tashqi muhitga issiqlik uzatish koeffitsiyenti; T_a — tashqi muhit harorati; K_{ij} — i va j zonalar orasidagi issiqlik almashinuvi koeffitsiyenti. Ushbu ifoda obyektning to‘liq modeli emas, balki zonalararo issiqlik bog‘liqligini ko‘rsatadigan umumlashtirilgan balans tenglamasidir. Amaliy modelni tuzishda qurilmaning geometriyasi, issiqlik izolyatsiyasi, mahsulotning issiqlik xossalari va isitish elementlarining joylashuvi hisobga olinishi kerak.

Haroratni avtomatik boshqarishning eng sodda usullaridan biri ikki pozitsiyali, ya’ni releli boshqaruvdir. Bunda o‘lchangan harorat belgilangan quyi chegaradan kamayganda isitkich yoqiladi, yuqori chegaraga yetganda esa o‘chiriladi. Bunday usulning afzalligi qurilma va algoritmning soddaligidir. Biroq issiqlik inersiyasi mavjud bo‘lgan obyektlarda isitkich o‘chirilganidan keyin ham harorat ko‘tarilishda davom etishi mumkin. Natijada belgilangan qiymat atrofida tebranish paydo bo‘ladi. Releli boshqaruv oddiy va aniqlik talabi yuqori bo‘lmagan jarayonlarda qo‘llanishi mumkin, lekin yuqori sifatli harorat rejimi talab qilinadigan ko‘p zonali qurilmalarda uning imkoniyatlari cheklangan.

Sanoat amaliyotida keng tarqalgan usullardan biri proporsional-integral-differensial, ya’ni PID rostlashdir. PID-regulyator boshqaruv xatoligini uch tarkibiy qism orqali qayta ishlaydi: proporsional qism joriy xatolikka, integral qism xatolikning vaqt bo‘yicha yig‘indisiga, differensial qism esa xatolikning o‘zgarish tezligiga javob beradi. Uning umumiy uzluksiz ifodasi $u(t)=K_p e(t)+K_i\int e(t)dt+K_d\cdot de(t)/dt$ ko‘rinishida yoziladi. Bu yerda e(t) — topshiriq qiymati bilan o‘lchangan harorat orasidagi farq, K_p, K_i va K_d — rostlagich parametrlaridir. PID rostlagichni sozlashda obyektning kechikishi, issiqlik inersiyasi, ijro mexanizmining chegaralari va o‘lchash shovqinlari hisobga olinishi lozim.

Ko‘p zonali qurilmada har bir zona uchun alohida PID-kontur tashkil etish amaliy jihatdan qulay. Har bir kontur o‘z datchigi, topshiriq qiymati va isitish yoki sovitish kanaliga ega bo‘ladi. Biroq zonalar orasidagi issiqlik almashinuvi kuchli bo‘lsa, bir konturdagi boshqaruv ta’siri boshqa kontur o‘lchayotgan haroratga ham ta’sir qiladi. Bunday sharoitda har bir rostlagichni alohida sozlash natijasida konturlar bir-biriga xalaqit berishi, ortiqcha rostlash yoki barqarorlashish vaqtining uzayishi kuzatilishi mumkin. Demak, mustaqil PID-konturlarni tanlashdan oldin zonalararo bog‘liqlik darajasini tajriba yoki matematik model yordamida baholash maqsadga muvofiqdir.

Boshqaruv tizimining arxitekturasi ham umumiy natijaga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Markazlashtirilgan arxitekturada barcha datchiklardan keladigan signallar yagona boshqaruv qurilmasiga uzatiladi va boshqaruv qarorlari umumiy algoritm asosida shakllantiriladi. Bu yondashuv zonalararo o‘zaro ta’sirni yagona modelda hisobga olish imkonini beradi, biroq markaziy qurilmaga va aloqa infratuzilmasiga yuqori talab qo‘yadi. Taqsimlangan arxitekturada esa alohida zonalar yoki zonalar guruhlari lokal kontrollerlar orqali boshqariladi. Bunday yechim tizimni modulli qurish va kengaytirishni yengillashtiradi. Ierarxik yondashuvda lokal rostlash quyi darajada, umumiy muvofiqlashtirish va operator nazorati esa yuqori darajada amalga oshiriladi. Ko‘p zonali obyektlar uchun arxitektura tanlovi zonalar soni, texnologik xavf, texnik xizmat ko‘rsatish imkoniyati va boshqaruvning talab etilgan aniqligiga bog‘liq.

So‘nggi yillarda ko‘p zonali tizimlarda modelga asoslangan bashoratli boshqaruv (Model Predictive Control — MPC) usullariga qiziqish ortmoqda. MPC obyektning matematik modelidan foydalanib, kelgusi vaqt oralig‘ida haroratning kutilayotgan o‘zgarishini hisoblaydi va belgilangan mezon bo‘yicha boshqaruv ta’sirini tanlaydi. Hisoblash har bir yangi o‘lchov

kelib tushganda yangilanadi. Bu usul bir nechta zonaning o‘zaro bog‘liqligini, isitkich quvvati cheklovlarini va haroratning ruxsat etilgan chegaralarini bitta optimallashtirish masalasida hisobga olish imkonini beradi.

Sang va hammualliflar ko‘p haroratli zonali tizimda harorat maydonining bir tekisligi va barqarorligini ta’minlash uchun ko‘p o‘zgaruvchili dinamik matritsali bashoratli boshqaruv yondashuvini taklif qilgan. Tadqiqotda issiqlik uzatishning chekli elementlar modeli ishlab chiqilgan, zonalararo bog‘liqlikni kamaytirish uchun ajratish usuli qo‘llangan va natijalar PID boshqaruvi bilan taqqoslangan. Mualliflar taklif etilgan algoritmni sanoat sinterlash pechida tekshirganini hamda qizdirish bosqichida buyumning eng yuqori va eng past haroratlari orasidagi farqni 5 °C doirasida ushlab turish natijasini qayd etgan.[3] Ushbu natija muayyan pech va tajriba sharoitiga tegishli bo‘lib, uni barcha turdagi ko‘p zonali obyektlarga bevosita ko‘chirish mumkin emas. Shunga qaramay, u zonalararo ta’sirni hisobga oluvchi ko‘p o‘zgaruvchili boshqaruvning amaliy salohiyatini ko‘rsatadi.

Adaptiv boshqaruv va noaniq mantiqqa asoslangan algoritmlar ham ko‘p zonali harorat tizimlari uchun istiqbolli yo‘nalishlardir. Adaptiv boshqaruvda rostlagich parametrlari obyektning o‘zgarayotgan xususiyatlariga qarab yangilanadi. Masalan, mahsulot massasi, tashqi harorat yoki issiqlik yo‘qotishlari o‘zgarganda bir xil sozlangan PID-regulyator avvalgidek natija bermasligi mumkin. Adaptiv algoritm bunday o‘zgarishlarga moslashishga intiladi. Noaniq mantiq usullarida esa mutaxassis tajribasi asosida tuzilgan qoidalar va tegishlilik funksiyalari yordamida boshqaruv ta’siri shakllantiriladi. Biroq bunday algoritmlarning samaradorligi qoidalar bazasining to‘g‘ri tuzilishiga, sozlashga va real obyekt sharoitida tekshirilishiga bog‘liq.

PLC texnologiyasi ko‘p zonali boshqaruv tizimining quyi va o‘rta darajasida keng qo‘llanadi. PLC harorat datchiklaridan kelgan analog yoki raqamli signallarni qabul qiladi, ularni masshtablaydi, rostlash algoritmini bajaradi va ijro mexanizmlariga buyruq uzatadi. Zamonaviy kontrollerlarda haroratni boshqarishga mo‘ljallangan maxsus texnologik obyektlar va PID funksiyalari mavjud. Masalan, Siemens S7-1200 va S7-1500 kontrollerlari uchun PID_Temp funksiyasi isitish va sovitish jarayonlarini boshqarish imkoniyatlarini taqdim etadi.[4] Bunday imkoniyatlar ko‘p zonali tizimni modulli dasturlashga yordam beradi, biroq datchiklarni tanlash, kirish-chiqish modullarining diapazoni va ijro qurilmalarining quvvati alohida hisoblanishi shart.

SCADA tizimi texnologik jarayonning yuqori darajadagi monitoringi va operator bilan o‘zaro aloqasini ta’minlaydi. Operator ekranida har bir zonaning joriy harorati, topshiriq qiymati, isitkich holati, ogohlantirishlar va vaqt bo‘yicha o‘zgarish grafiklari aks ettirilishi mumkin. Ma’lumotlarni arxivlash keyinchalik jarayon sifatini tahlil qilish, nosozlik sabablarini aniqlash va energiya sarfini baholash uchun zarur. PLC va SCADA o‘rtasidagi aloqa sanoat protokollari orqali tashkil etiladi. Bunda aloqa uzilishi yoki noto‘g‘ri ma’lumot kelishi holatlari uchun xavfsiz ish rejimi oldindan belgilanishi lozim.

---

[3]Sang X., Yuan Z., Yu X., Xiao G., Sadiq M. T., Yang P., Li Y. Simultaneous stable control of temperature field distribution uniformity and consistency for multi-temperature zone systems // Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2021. Vol. 43, No. 9. P. 2069–2080. DOI: 10.1177/0142331221989849.

[4] Siemens AG. SIMATIC S7-1200, S7-1500: PID Control. Function Manual. Edition 11/2025. A5E35300227-AJ.

Sanoat avtomatlashtirish tizimlarining tarmoqqa ulanishi ularning funksional imkoniyatlarini kengaytiradi, shu bilan birga axborot xavfsizligi talablarini ham kuchaytiradi. NIST tomonidan ishlab chiqilgan SP 800-82 Rev. 3 qo‘llanmasida operatsion texnologiyalar, jumladan PLC va SCADA tizimlari uchun ishonchlilik, mavjudlik va xavfsizlik talablarini birgalikda ko‘rib chiqish zarurligi ta’kidlangan.[5] Haroratni boshqarish tizimida kiberxavfsizlik masalasi faqat axborotni himoya qilish bilan cheklanmaydi: noto‘g‘ri boshqaruv buyrug‘i yoki aloqa kanaliga aralashuv fizik jarayonning xavfli holatga o‘tishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shu bois operator vakolatlarini cheklash, tarmoq segmentatsiyasi, zaxira nusxalar, hodisalarni qayd etish va mustaqil avariya himoyasini ko‘zda tutish muhimdir.

Mavjud yondashuvlarni qiyoslash shuni ko‘rsatadiki, releli boshqaruv sodda va arzon bo‘lsa-da, haroratning tor chegarada saqlanishi talab qilinganda yetarli bo‘lmasligi mumkin. PID rostlash ko‘plab sanoat jarayonlari uchun amaliy va ishonchli yechim bo‘lib qolmoqda, lekin kuchli zonalararo bog‘liqlik sharoitida uning konturlarini muvofiqlashtirish zarur. MPC bir nechta boshqaruv kanali va cheklovlarni hisobga olish imkonini beradi, biroq matematik model, parametrlarni identifikatsiyalash va hisoblash resurslarini talab qiladi. Adaptiv hamda noaniq mantiqqa asoslangan usullar o‘zgaruvchan sharoitlarda foydali bo‘lishi mumkin, lekin ularning ishlash sifati aniq tekshiruv bilan tasdiqlanishi kerak. Shuning uchun algoritmni tanlashda faqat nazariy imkoniyat emas, balki obyektning real dinamikasi, texnik xizmat ko‘rsatish darajasi va iqtisodiy samaradorlik ham hisobga olinishi lozim.

Ko‘p zonali haroratni boshqarish tizimlarini rivojlantirishning muhim yo‘nalishlaridan biri har bir zona bo‘yicha o‘lchash ma’lumotlarining ishonchliligini oshirishdir. Datchikning noto‘g‘ri joylashtirilishi yoki kalibrlashdagi og‘ish butun rostlash konturining sifatiga ta’sir qiladi. Shu sababli datchik turi va o‘lchash diapazonini texnologik haroratga mos tanlash, o‘lchash kanallarini davriy tekshirish, zarur hollarda ortiqcha datchiklardan foydalanish maqsadga muvofiq. Bundan tashqari, haroratni bitta nuqtada o‘lchash butun zona bo‘yicha harorat maydonining bir tekisligini to‘liq ifodalamasligi mumkin. Mahsulot sifati harorat maydoniga bog‘liq bo‘lgan jarayonlarda bir nechta o‘lchash nuqtalari yoki maxsus harorat xaritalash usullari talab etiladi.

Ikkinchi muhim yo‘nalish energiya samaradorligini boshqaruv masalasiga kiritishdir. An’anaviy rostlashda asosiy maqsad harorat topshirig‘iga yaqinlashish bo‘lsa, energiya tejamkor boshqaruvda issiqlik yo‘qotishlari, isitkich quvvati va texnologik sikl davomiyligi ham baholash mezoniga aylanadi. Bunda harorat aniqligi bilan energiya sarfi o‘rtasida muvozanat topish zarur. Issiqlik izolyatsiyasini yaxshilash, isitish rejimini texnologik yuklamaga moslashtirish, zonalararo issiqlik oqimidan oqilona foydalanish va boshqaruv algoritmini optimallashtirish birgalikda ko‘rib chiqilishi kerak.

Uchinchi yo‘nalish — diagnostika va prognozlash imkoniyatlarini kengaytirishdir. Haroratning odatdagi dinamikasidan chetga chiqishi datchik nosozligi, isitkich quvvatining pasayishi, issiqlik izolyatsiyasining buzilishi yoki texnologik yuklama o‘zgarishidan dalolat berishi mumkin. Ma’lumotlarni tarixiy arxiv bilan taqqoslash va jarayon modelidan foydalanish bunday holatlarni erta aniqlashga yordam beradi. Biroq diagnostika algoritmi operator uchun tushunarli bo‘lishi, noto‘g‘ri ogohlantirishlar soni esa maqbul darajada saqlanishi zarur.

[5] Stouffer K. et al. Guide to Operational Technology (OT) Security. NIST Special Publication 800-82, Revision 3. National Institute of Standards and Technology, 2023. DOI: 10.6028/NIST.SP.800-82r3.

Xulosa. Ko‘p zonali texnologik obyektlarda haroratni avtomatik boshqarish masalasi alohida zonalarning haroratini belgilangan qiymatda ushlab turish bilangina cheklanmaydi. Bunda zonalararo issiqlik almashinuvi, obyektning issiqlik inersiyasi, o‘lchash aniqligi, ijro mexanizmlarining imkoniyatlari va energiya sarfi o‘zaro bog‘liq holda qaralishi kerak. Ilmiy manbalar tahlili ko‘p zonali tizimlarda oddiy mustaqil rostlash konturlari ayrim sharoitlarda yetarli bo‘lishini, biroq issiqlik bog‘liqligi kuchaygan sari koordinatsiyalangan va ko‘p o‘zgaruvchili boshqaruvga ehtiyoj ortishini ko‘rsatadi.

PID-regulyatorlar sanoat uchun amaliy va keng tarqalgan yechim bo‘lib qolmoqda. Shu bilan birga, matematik modelga asoslangan bashoratli boshqaruv zonalararo o‘zaro ta’sir va texnologik cheklovlarni birgalikda hisobga olish imkonini beradi. PLC va SCADA integratsiyasi esa lokal avtomatik rostlashni umumiy monitoring, ma’lumotlarni arxivlash va operator nazorati bilan birlashtiradi. Kelgusidagi tadqiqotlarda avvalo tanlangan texnologik obyektning issiqlik balansini tuzish, zonalararo ta’sir koeffitsiyentlarini aniqlash, datchik va ijro mexanizmlarini asoslash, so‘ngra PID hamda muqobil algoritmlarni bir xil sharoitda modellashtirib taqqoslash maqsadga muvofiqdir.

Shunday qilib, ko‘p zonali texnologik obyektlarda haroratni avtomatik monitoring qilish va boshqarish tizimlarini takomillashtirishning asosiy istiqboli lokal rostlash, umumiy koordinatsiya, ishonchli o‘lchash va energiya samaradorligini yagona avtomatlashtirilgan tizim doirasida uyg‘unlashtirishdan iborat.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Koeln J., Keating B., Alleyne A., Price C., Rasmussen B. P. Multi-zone temperature modeling and control // Advances in Industrial Control. Springer International Publishing, 2018. P. 139–166. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-68462-8_6.
2. Sang X., Yuan Z., Yu X., Xiao G., Sadiq M. T., Yang P., Li Y. Simultaneous stable control of temperature field distribution uniformity and consistency for multi-temperature zone systems // Transactions of the Institute of Measurement and Control. 2021. Vol. 43, No. 9. P. 2069–2080. DOI: https://doi.org/10.1177/0142331221989849.
3. Siemens AG. SIMATIC S7-1200, S7-1500: PID Control. Function Manual. Edition 11/2025. A5E35300227-AJ.
4. Stouffer K., Pease M., Tang C., Zimmerman T., Pillitteri V., Lightman S., Hahn A., Saravia S., Sherule A., Thompson M. Guide to Operational Technology (OT) Security. NIST Special Publication 800-82, Revision 3. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. DOI: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3.