ENERGIYA SAQLAGICHLARGA EGA BO‘LGAN ENERGETIKA TIZIMLARINING QISQA MUDDATLI HOLATLARINI OPTIMALLASHTIRISH

Gayibov T.Sh.
Toshkent davlat texnika universiteti, t.f.d., professor,
E-mail: tulgayibov@gmail.com
Murodov B.X.
«O‘zbekiston milliy elektr tarmoqlari» AJ, bo‘lim boshlig‘i

Annotatsiya. Hozirgi davrda tarkibida ko‘plab har xil qayta tiklanuvchan energiya resurslarida ishlovchi stansiyalar joriy etilayotgan zamonaviy energetika tizimlarini ishonchli va samarali ishlatish uchun katta quvvatli energiya saqlagichlarni qurish va joriy etish bo‘yicha keng ko‘lamli ishlar olib borilmoqda. Bunday tizimlarning samarali ishlashini ta’minlash uchun ularning qisqa muddatli holatlarini energiya saqlagichlarning rostlash imkoniyatlarini hisobga olib, optimal rejalashtirish va operativ holatlarini boshqarishning zamonaviy usullarini yaratish va joriy etish dolzarb masala hisoblanadi. Ushbu maqolada yirik rostlanuvchan energiya saqlagichlarga ega bo‘lgan energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini optimallashtirishning matematik modeli va algoritmi taklif etilgan. Ularning samaradorligini konkret misollarda tadqiq etish natijalari keltirilgan.

Kalit so‘zlar. Optimallashtirish, maqsad funksiyasi, chegaraviy shartlar, energiya saqlagich, matematik model, optimal rejalashtirish, operativ boshqarish.

Аннотация. В настоящее время для надежной и эффективной эксплуатации современных энергосистем, содержащих в своем составе множества электростанций, работающих на различные виды возобновляемых энергоресурсов, ведутся широкомасштабные работы по строительству и эксплуатации крупных накопителей энергии. Для обеспечения эффективной работы таких энергосистем актуальным является создание и внедрение современных методов оптимального планирования их краткосрочных режимов и управления оперативными режимами. В данной работе предлагается эффективная математическая модель и алгоритм оптимизации краткосрочных режимов энергосистем, содержащих крупные накопители энергии. Приведены результаты исследования их эффективностей на конкретных примерах.

Ключевые слова. Оптимизация, целевая функция, ограничивающие условия, накопитель энергии, математическая модель, оптимальное планирование, оперативное управление.

Abstract. Currently, to ensure the reliable and efficient operation of modern power systems containing multiple power plants which use various kind of renewable

ISSN 3030-3907

energy sources the large-scale construction and operation of large energy storage facilities is underway. To ensure the efficient operation of such power systems, the development and implementation of modern methods for optimally scheduling their short-term modes and managing their operational modes is essential. This paper proposes an effective mathematical model and algorithm for optimizing the short-term modes of power systems containing large energy storage facilities. The results of their efficiency research are presented.

Keywords. Optimization, objective function, constraints, energy storage, mathematical model, optimal planning, operational control

Kirish

Hozirgi davrda Jahonda elektr energiyaga bo‘lgan talabning yuqori suratlarda oshib, organik yoqilg‘i zahiralarining kamayib, ekologik muammolarning keskinlab borishi bilan ko‘plab har xil turdagi qayta tiklanuvchan energiya resurslarida ishlovchi manbalarning, xususan quyosh va shamol stansiyalarini, qurish va ishlatish yo‘nalishida keng qamrovli ishlar olib borilmoqda. Bunda iste’molchilarni sifatli elektr energiyasi bilan ishonchli tarzda ta’minlash uchun energiya saqlash tizimlarini joriy etish ishlari ham yuqori suratlarda davom etmoqda. Bunday sharoitlarda energetika tizimlarining holatlarini rejalashtirish va boshqarish usullari ham mos tarzdagi takomillashtirishni talab etmoqda.

Energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini kompleks optimallashtirish masalasi umumiy hollarda rejalashtirilayotgan davrning barcha vaqt intervallarida rostlanuvchan parametrlarning iste’molchilarni ishonchli tarzda sifatli elektr energiyasi bilan minimal xarajatlarda ta’minlovchi qiymatlarini topishni ko‘zda tutib, murakkab matematik dasturlash masalasi hisoblanadi [1-4]. Shu sababli, amaliy maqsadlarda foydalanish mumkin bo‘lgan optimal natijalarni olish uchun uni dekompozisiyalash asosida yechish qabul qilingan [3, 4]. Ushbu ishda tarkibida energiya saqlagichlar mavjud bo‘lgan tizimlar uchun dekmpozisiyalash natijasida hosil bo‘luvchi ikkinchi masalani, ya’ni energetika tizimining qisqa muddatli holatlarini aktiv quvvat bo‘yicha optimallashtirish masalalarining tadqiqi natijalari keltirilmoqda.

Hozirgi davrda ushbu yo‘nalishdagi muammolarni hal etish masalalariga bag‘ishlangan qator adabiyotlar mavjud bo‘lib, ular, shubhasiz, bunday masalalarni yechish nazariyasi va amaliyotining taraqqiyotiga munosib hissa qo‘shgan. Ushbu yo‘nalishda bugungi kunda mavjud usullar yoritilgan asosiy adabiyotlar qatorida, xususan, [5, 6, 7-15] larni qayd etish mumkin.

[5] da elektr tarmoqlarida o‘rnatiluvchi akkumulyator batareyalarining parametrlarini ular uchun sarflanuvchi umumiy xarajatlarning minimalligi mezoni

ISSN 3030-3907

bo‘yicha optimallashtirish usuli taklif etilgan. [6] da energiya saqlash vositalarining optimal o‘rnatilish joylarini elektr tarmoqlari orqali energiya bilan ta’minlashda maksimal ishonchlilikni ta’minlash mezoni bo‘yicha tanlash uslubi taklif etilgan. U batareya o‘rnatilishi mumkin bo‘lgan har bir tugun uchun mos hisoblashlarni amalga oshirishni ko‘zda tutadi. Biroq, unda asosiy mezon sanaluvchi iqtsiodiylik mezoni taxminiy tarzda hisobga olinadi. Shu bilan bir qatorda mazkur ishlarda taklif etilgan model va usullar taqsimlovchi elektr tarmoqlari uchungina mo‘ljallangan.

[7] da akkumulyator batareyalarini o‘z ichiga olgan mikrotarmoqlarda quvvatni boshqarishning turli sxemalarini o‘rganish natijalari keltirilgan. [8] da batareyani optimal boshqarish xarajatlari va foydalari tahlili amalga oshirilgan. Rejalashtirish bosqichida akkumulyator tizimining ishonchliligini oshirishning afzalliklari muhokama qilingan. [9] da, o‘zgarmas tokli taqsimlash tarmoqlarida akkumulyator batareyalarini boshqarish tizimi orqali kun davomida optimal taqsimlanishi uchun akkumulyator batareya energiyasini boshqarish tizimi taklif etilgan. Unda optimallashtirishning maqsadli funksiyasi tashqi tarmoqdan olingan elektr energiyasining umumiy qiymati hisoblanadi. [10] da dinamik yuklama, shamol generatori, akkumulyator batareyalari, fotoelektrik modullarni o‘rnatish va dizel generatorini o‘z ichiga olgan elektr ta’minoti tizimini optimallashtirish usuli taklif etilgan. Taklif etilayotgan yondashuvning maqsadi umumiy xarajatlarni, energiya xarajatlarini minimallashtirish va foyda-xarajat nisbatini maksimal darajada oshirish, qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan maksimal darajada foydalanish va dizel generatorining ishlashini minimallashtirishdan iborat bo‘lgan. [11] fotoelektrik modullar, shamol generatorlari va batareyalardan tashkil topgan gibrid tizimni optimallashtirish masalalariga bag‘ishlangan. Aktiv quvvatning umumiy isroflarini va tugun kuchlanishlarining nominal qiymatlaridan og‘ishlarini minimallashtirish muammosini hal qilishning matematik modeli va algoritmi keltirilgan. [12] da taqsimlangan ishlab chiqarish tizimlari va mikrotarmoqlarda energiyani saqlash orqali ishonchlilik va samaradorlikni oshirish masalalari o‘rganilgan. [13] da adabiyotlar tahlili asosida energiya saqlash tizimlari tarqatish tarmoqlarida energiya samaradorligini maksimal darajada oshirish uchun muhim imkoniyatlarni taqdim etishi aniqlangan. [14] da zaryadlash-razryadlash quvvatining chiziqli bo‘lmagan funksiyasi sifatida zaryad o‘zgarishining tezligini olish uchun umumiy model taklif etilgan. [15] da ko‘p sonli yangi energiya manbalari tarmoqqa ulanganda energetika tizimi va yuklama o‘rtasidagi dinamik quvvat nomutanosibligidan kelib chiqadigan chastota o‘zgarishlari muammosini hal qilish uchun birlamchi tarmoq chastotasini boshqarishni amalga oshirish uchun energiya saqlash (batareya) tizimi uchun ikki qatlamli optimallashtirish strategiyasi

ISSN 3030-3907

taklif qilingan. Ushbu ishlarning tahlili ularda samaradorlikni, asosan, tarkibida energiya saqlash vositalari majud bo‘lgan energetika tizimining elektr tarmoqlaridagi isroflarni minimallashtirish hisobiga ta’minlashni ko‘zda tutilganligini ko‘rsatadi. Bu esa, umumiy yoqilg‘i sarfini minimallashtirish masalasining xususiy holati hisoblanadi.

Shunday qilib, takibida energiya saqlagichlar mavjud bo‘lgan energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini optimallashtirishnng zamonaviy modyel va algoritmlarini ishlab chiqish dolzarb masalalaligicha qolmoqda. Ushbu ishda mazkur masalaning samarali matematik modeli va u asosida optimallashtirish algoritmi keltirilgan.

Matematik model va optimallash algoritmi. Energiya saqlagichlarni o‘z ichiga olgan energetika tizimi holatini optimallashtirish masalasining taklif etilayotgan matematik modeli quyidagicha ifodalanadi: issiqlik elektr stansiyalarida umumiy yoqilg‘i xarajatlarining funksiyasi bo‘lgan maqsad funksiyasi

$$B = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} B_{i.t}\left(P_{i.t}\right) \to \min \qquad (1)$$

ni quyidagi chegaraviy shartlarni e’tiborga olgan holda minimallashtirish talab etiladi:

- har bir vaqt intervali t uchun aktiv quvvat balansi bo‘yicha

$$\sum_{i=1}^{n} P_{i.t} + \sum_{j=1}^{m} P_{j.ES.t} = P_{н.t} - P_{KT.t}, \quad t = 1, 2, ..., T; \qquad (2)$$

- xar bir energiya saqlagichda ko‘rilayotgan davrning boshlanishi va oxirida qoldiq zaryad energiyasining tengligi bo‘yicha

$$\sum_{t=1}^{T} P_{i.ES.t} - \Delta W_{i.ES} = 0, \quad i = 1, 2, ..., m \quad ; \qquad (3)$$

- optimallashtirishda ishtirok etuvchi stansiyalarning minimal va maksimal ruxsat etilgan quvvatlari bo‘yicha

$$P_i^{\min} \le P_{i.t} \le P_i^{\max}, \quad i = 1, 2, ..., n; \quad t = 1, 2, ..., T \; ; \qquad (4)$$

- energiya saqlagichlarni zaryadlash va razryadlashning minimal va maksimal ruxsat etilgan quvvatlari bo‘yicha

$$-P_{j.ES}^{ch.\max} \le P_{j.ES.t} \le P_{j.ES}^{dch.\max}, \quad j = 1, 2, ..., m; \quad t = 1, 2, ..., T \; , \qquad (5)$$

- energiya saqlagichda saqlanadigan minimal va maksimal ruxsat etilgan energiya miqdori bo‘yicha

$$W_{j.ES}^{\min} \le W_{j.bal} - \sum_{i=1}^{t} P_{j.ES.i} \le W_{j.ES}^{\max}, \quad j = 1, 2, ..., m; \quad t = 1, 2, ..., T; \qquad (6)$$

ISSN 3030-3907

bu yerda, *n, m* - optimallashtirishda ishtirok etadigan issiqlik elektr stansiyalari va energiya saqlagichlar soni; $P_{i..t}$, $P_{j.ES.t}$ - *t*-chi vaqt intervalida *i*- chi IES va *j*- chi energiya saqlagichning quvvati; $P_{KT.t}$ - *t*-chi vaqt intervalida qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi stansiyalarning umumiy quvvati; $P_{н.t}$ - elektr energetika tizimining *t*- chi vaqt intervalidagi umumiy yuklamasi; $W_{j.bal}$ - ko‘rib chiqilayotgan davr T boshida *j*- chi energiya saqlagichdagi qoldiq energiya miqdori. Qabul qilingan modelda $P_{j.ES.t}$ ning musbat ishorasi uning razryadlanish, manfiy ishorasi esa, zaryadlanish rejimlariga mos keladi.

Ushbu modeldan foydalanib, masalani yechishning taklif etilayotgan algoritmiga ko‘ra integral cheklovlar (3) va (6) lar [3, 4] da keltirilgan kvadrat shaklidagi jarima funksiyalari $Ш_{i.ES}$, $Ш_{j.t}^{\max}$, $Ш_{j.t}^{\min}$ lar yordamida hisobga olinadi. Barcha vaqt intervallarida quvvat balansini ifoda etuvchi chegaraviy shart (2) balanslovchi stansiyani ajratish va mos holda uning barcha vaqt intervallaridagi quvvatlarini bog‘langan o‘zgaruvchi sifatida qabul qilish orqali hisobga olinadi:

$$P_{1.t} = P_{н.t} - P_{KT.t} - \sum_{i=2}^{n} P_{i.t} - \sum_{j=1}^{m} P_{j.ES.t}, \quad t = 1, 2, ..., T. \qquad (7)$$

Balanslovchi stansiyasiyanng ruxsat etilgan minimal va maksimal quvvatlari bo‘yicha chegaraviy shart (4) ham jarima funksiyalari yordamda hisobga olinadi. Shunday qilib, masalani yechish umumlashtirilgan maqsad funksiyasi

$$F = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} B_{i.t}\left(P_{i.t}\right) + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{m} Ш_{j.t}^{\max} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{m} Ш_{j.t}^{\min} + \sum_{j=1}^{m} Ш_{j.ES}^{\min} \to \min \qquad (8)$$

ni chegaraviy shartlar (4) ni (balanslovchi stansiyadan tashqari) va (5) larni hisobga olib minimallashtirishga keltiriladi.

Iteratsiya jarayonining har bir *k*-chi qadamida optimallashtirishda ishtirok etuvchi barcha stansiyalarning (balanslovchi stansiyadan tashqari) va energiya saqlagichlarning quvvatlari gradiyent usuli yordamida topiladi:

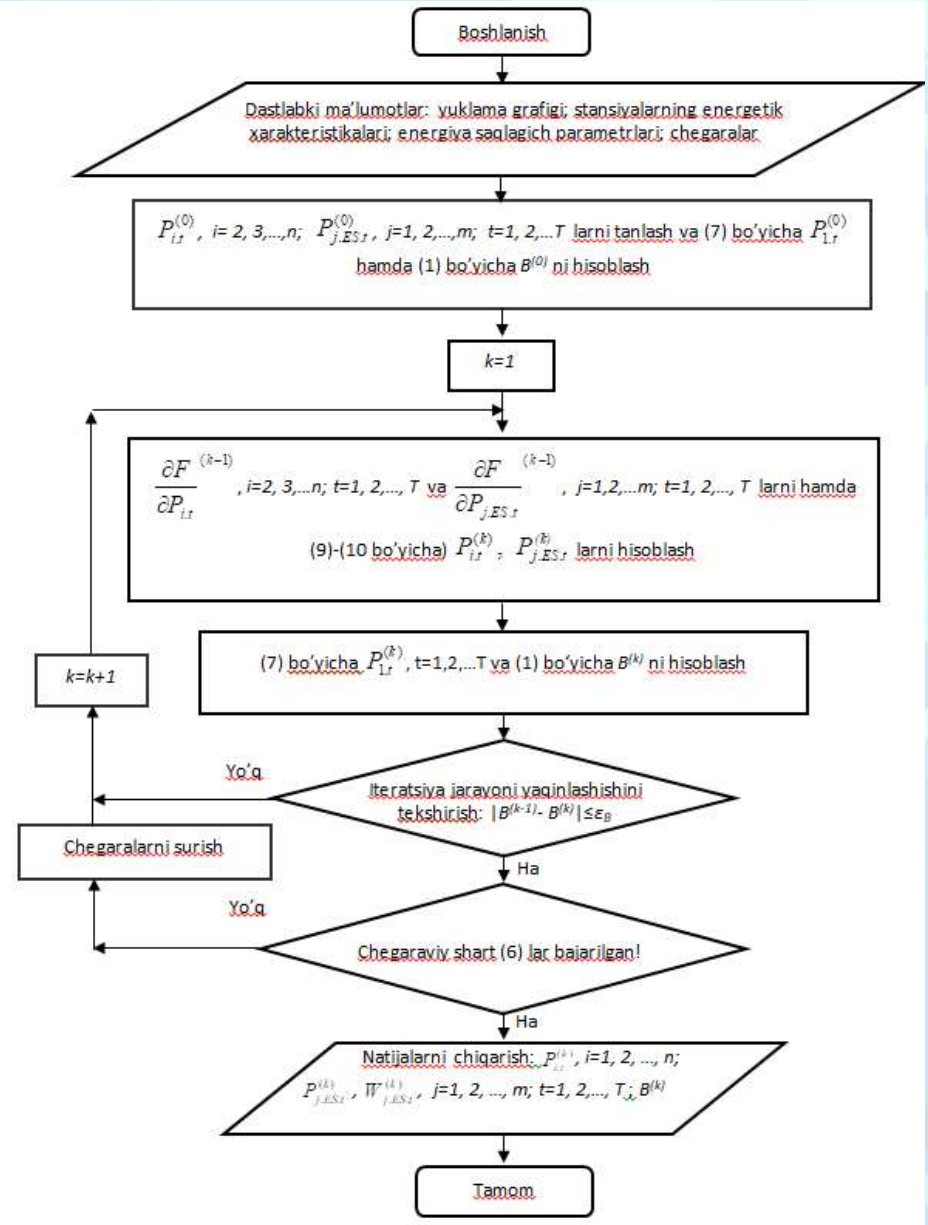
$$P_{i.t}^{(k)} = P_{i.t}^{(k-1)} - h_{i.t}^{(k)} \cdot \frac{\partial F}{\partial P_{i.t}}^{(k-1)}, \quad i = 2, 3, ..., n; \quad t = 1, 2, ..., T; \qquad (9)$$

$$P_{j.ES.t}^{(k)} = P_{j.ES.t}^{(k-1)} - h_{j.ES.t}^{(k)} \cdot \frac{\partial F}{\partial P_{j.ES.t}}^{(k-1)}, \quad j = 1, 2, ..., m; \quad t = 1, 2, ..., T, \qquad (10)$$

bu yerda $h_{i.t}^{(k)}$, $h_{j.ES.t}^{(k)}$ - mos o‘zgaruvchilar bo‘yicha gradiyent qadami bo‘lib, ularning qiymatlari har bir iteratsiyada [4] dagi singari topiladi.

1- rasmda taklif etilgan optimallashtirish algoritmining yiriklashtirilgan blok-sxemasi keltirilgan.

ISSN 3030-3907



1- rasm. Energiya saqlagichlarga ega bo‘lgan energetika tizimining qisqa muddatli holatini optimallashtirish algoritmining blok-sxemasi.

Hisoblash-tajriba natijalari. Energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini optimallashtirish masalasining taklif etilgan matematik modeli va u asosida optimallashtirish algoritmining samaradorligi O‘zbekiston elektr energetika tizimining markaziy qismini sutkalik holatini optimal rejalashtirish misolida tadqiq qilindi.

Optimallashtirish Sirdaryo IES (21 va 28-tugunlarda), Toshkent IES (3-tugunda), Yangi-Angren IES (14 va 15-tugunlarida) hamda Chirchik (5- tugun), Adolat (19- tugun), Axangaran (27- tugun) podstansiyalarida joylashgan har biri 200 MW.soat sig‘imga va Toshkent (Toshkent-220, 4- tugun) da joylashgan 500 MW.soat sig‘imga ega bo‘lgan akkumulyator batareyalarining quvvatlari bo‘yicha amalga oshirildi. Sig‘imi 200 MW.soat bo‘lgan akkumulyator batareyasining

ISSN 3030-3907

maksimal zaryadlanish quvvati 100 MW, maksimal razryadlanish quvvati 200 MW. Sig‘imi 500 MW.soat bo‘lgan akkumulyator batareyasi uchun esa, bu ko‘rsatkichlar mos holda 200 MW va 334 MWni tashkil etadi.

Balanslovchi stansiya sifatida Sirdaryo IESning 500 kV kuchlanishli shinasiga ishlovchi agregatlaridan iborat bo‘lgan qismi qabul qilindi.

Sutkalik sikl 8 ta xarakterli vaqt intervallari orqali ifodalangan bo‘lib, tizimning umumiy yuklama grafigi $P_н(t)$ ni optimallashda qatnashuvchi issiqlik elektr stansiyalarining dastlabki holatdagi qoplashida ularning yuklama grafiklari $P_i(t)$ da ulardagi umumiy shartli yoqilg‘i sarfi 8042,65 t.sh.yo. ni tashkil etdi.

Natijalarni solishtirish uchun avvalo ko‘rilayotgan sutka uchun energetika tizimining holati akkumulyator batareyalarini hisobga olmasdan optimallashtirildi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1- jadval.

Energetika tizimining sutkalik holatini akkumulyator batareyalari mavjud bo‘lmagan holda optimallashtirish natijalari.

IES quvvatlari	Vaqt intervallari, t								B_i, t.sh.yo.
	1	2	3	4	5	6	7	8	
$P_{28.}$, MW	669,2	771,8	867,1	773,1	723,1	796,8	900,0	761,3	2037,43
$P_{21.}$, MW	667,9	770,3	865,9	771,6	721,7	795,2	900,0	759,8	2034,10
$P_{3.}$, MW	583,7	666,3	743,1	667,4	627,1	686,5	845,0	657,8	1923,70
P_{14}, MW	446,1	514,4	575,2	515,2	482,0	531,1	600,0	507,4	1357,06
P_{15}, MW	223,1	257,2	288,8	257,6	241,0	265,5	300,0	253,7	678,88
$P_{\Sigma.IES}=P_m$ MW	2590,0	2980,0	3340,0	2985,0	2795,0	3075,0	3545,0	2940,0	**Jami: 8031,17**

Optimallashtirish natijasida aniqlangan minimal shartli yoqilg‘i sarfini uning dastlabki holatdagi qiymati bilan solishtirish orqali 8 ta vaqt intervali sifatida ifodalangan sikl davomida umumiy shartli yoqilg‘i sarfi 11,47 t.sh.yo. ga, agar xar bir vaqt intervali davomiyligini 3 soatga teng ekanligini hisobga olsak, sutka davomida 34,41 t.sh.yo. ga yoki 0,14% ga kamayganligini ko‘ramiz.

2-jadvalda taklif etilgan matematik model va hisoblash algoritmidan foydalanish asosida barcha 4 ta podstansiyadagi akkumulyator batareyalarini

ISSN 3030-3907

hisobga olgan holda energetika tizimining holatini optimallashtirish natijalari kyeltirilgan.

Ushbu natijalarda batareya quvvati oldidagi musbat ishora uning razryadlanish rejimiga, manfiy ishora esa zaryadlanish rejimiga mos keladi. Hisoblashlar shuni ko‘rsatadiki, kunning boshida va oxirida akkumulyator batareyalari razryadlanishining maksimal chuqurligiga mos keluvchi qoldiq zaryad energiyasiga ega bo‘ladi (ushbu holatda, nominal sig‘imining 50% ga teng).

2-jadval.

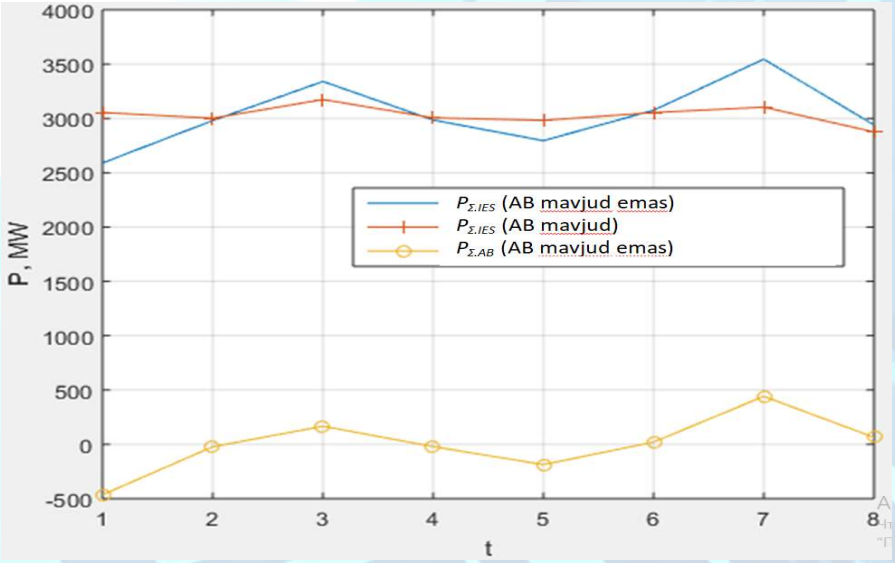
Energetika tizimining sutkalik holatini akkumulyator batareyalarini hisobga olib optimallashtirish natijalari.

IES va AB quvvatlari	Vaqt intervallari, t								B_i, t.sh.yo.
	1	2	3	4	5	6	7	8	
$P_{28.}$, MVt	838,9	778,8	810,9	779,7	813,2	792,4	780,5	745,3	2061,37
$P_{21.}$, MW	772,3	772,4	835,6	773,3	725,3	786,4	835,2	740,1	2028,59
$P_{3.}$, MW	687,9	637,9	720,9	674,6	697,4	684,9	702,2	646,8	1924,66
P_{14}, MW	487,3	518,0	546,1	518,6	492,0	526,9	546,3	495,5	1342,42
P_{15}, MW	267,7	259,0	259,8	259,3	253,7	263,5	239,2	247,8	665,93
$P_{\Sigma.IES}=P_н$ MW	3054,1	3002,0	3173,4	3005,7	2981,7	3054,1	3103,4	2875,5	**Jami: 8022,98**
$P_{5.AB}$, MW	-94,50	-5,50	41,56	-5,16	-34,23	5,23	76,51	16,12	-
$P_{19.AB}$, MW	-94,50	-5,50	41,56	-5,16	-34,23	5,23	76,51	16,12	-
$P_{27.AB}$, MW	-94,50	-5,50	41,56	-5,16	-34,23	5,23	76,51	16,12	-
$P_{4.AB}$, MW	-180,63	-5,50	41,90	-5,16	-84,00	5,23	212,07	16,12	-
$P_{\Sigma.AB}$, MW	-464,1	-22,0	166,6	-20,6	-186,7	20,9	441,6	64,5	-

ISSN 3030-3907

Shunday qilib, elektr energetika tizimi tarkibida akkumulyator batareyalari mavjud bo‘lganda 8 ta vaqt intervallariga ajratilgan davrga uning holatini optimallashtirish natijasida qo‘shimcha 8,19 t.sh.yo. va mos holda sutka davomida 24,57 tonna sharli yoqilg‘i tejaladi. Agar hosil bo‘lgan optimal natijani energetika tizimining dastlabki holati bilan solishtirsak, umumiy iqtisod qilinuvchi yoqilg‘i miqdori 8 ta vaqt intervali davomida 19,67 t.sh.yo. va mos holda sutka davomida 59,01 t.sh.yo. ni tashkil etib, shundan 41,6% qismi mavjud akkumulyator batareyalarining ish rejimlarini optimallashtirish hisobiga ta’minlangan.

Ushbu holatda rejalashtirilayotgan davrga issiqlik elektr stansiyalarida umumiy shartli yoqilg‘i sarfini kamaytirish akkumulyator batareyalarini optimal zaryadlanish va razryadlanish rejimlarini ta’minlash orqali stansiyalarning yuklama grafiklarini tekislash hisobiga sodir bo‘ladi (2- jadval). 2-rasmda barcha issiqlik elektr stansiyalari (IES) va akkumulyator batareyalari (AB)ning umumiy yuklama grafiklari ko‘rsatilgan. Undan akkumulyator batareyalarining rejimlarini optimal boshqarilishi hisobiga IESlarning umumiy yuklama grafigini keskin darajada tekislanganligini ko‘ramiz.



2- rasm. AB mavjud bo‘lmagan va bo‘lgan holatlarda IESlarining umumiy optimal yuklama hamda ABning quvvat grafiklari.

Ushbu holatda shartli yoqilg‘i sarfining faqat yuklama grafigining tekislanishi hisobiga solmoqli miqdorga kamayishi ko‘rsatildi. Umumiy hollarda IES yuklama grafigining tekislanishi uning bloklarini o‘zgaruvchan yuklamaga muvofiq o‘chirib-yoqish zaruratini ham bartaraf etadi. Buning natijasida bloklarning quvvatlarini o‘zgartirish va, xususan, ma’lum vaqtga o‘chirilgan bloklarni qayta ishga tushirish bilan bog‘liq bo‘lgan solmoqli miqdordagi qo‘shimcha yoqilg‘i sarfi ham bartaraf etiladi.

Xulosalar:

ISSN 3030-3907

1. Tarkibida energiya saqlagichlar mavjud bo‘lgan energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini barcha cheklovchi va ta’sir etuvchi faktorlarni hisobga olib optimallashtirish masalasining yangi matematik modeli va u asosida optimallashtirish algoritmi taklif etildi.
2. Taklif etilgan model va algoritmning hisoblash sifatlarini konkret misolda tadqiq qilish natijalari ularni yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi.
3. Taklif etilgan matematik model va u asosida optimallashtirish algoritmi tarkibida turli xil energiya saqlash vositalari mavjud bo‘lgan energetika tizimlarining kisqa muddatli holatlarini rejalashtirishda dispetcherlik xizmatlari tomonidan foydalanishga tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике/Под общ. ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова.–М.: Изд-во МЭИ, 2000.-648 с.
2. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электро-энергетических систем и их оптимизация. – Ташкент: Молия, 1999. – 370 с.
3. Насыров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Фан ва технология», 2014, 184 с.
4. Гайибов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. Т.: Изд. ТашГТУ, 2014. 178 с.
5. Jaradat T, Khatib T. Optimal sizing of battery energy storage system in electrical power distribution network. Energy Exploration & Exploitation. 2024;43(3):909-931. doi:10.1177/01445987241300183.
6. D. Bhaumik, D. Crommelin and B. Zwart, "A computational method for optimizing storage placement to maximize power network reliability," 2016 Winter Simulation Conference (WSC), Washington, DC, USA, 2016, pp. 883-894, doi: 10.1109/WSC.2016.7822150.
7. Bharatee A, Ray PK, Subudhi B, Ghosh A. Power Management Strategies in a Hybrid Energy Storage System Integrated AC/DC Microgrid: A Review. Energies, 2022, 15(19):7176. https://doi.org/10.3390/en15197176.
8. Wenxia LIU, Shuya Niu, Huiting Xu. Optimal planning of battery energy storage considering reliability benefit and operation strategy in active distribution system. J. Mod. Power Syst. Clean Energy (2017) 5(2):177-186. Doi 10.1007/s40565-016-0197-4.
9. L.F. Grisales-Noreña, Oscar Danilo Montoya, Carlos Andres Ramos-Paja. An energy management system for optimal operation of BSS in DC distributed generation environments based on a parallel PSO algorithm. Journal of Energy Storage, Volume 29, 2020, https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101488.

ISSN 3030-3907

10. T. Adefarati, R.C. Bansal, M. Bettayeb, R. Naidoo, Optimal energy management of a PV-WTG-BSS-DG microgrid system. Energy, Volume 217, 2021, https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119358.
11. Aliabadi, M.J., Radmehr, M. Hybrid energy system optimization integrated with battery storage in radial distribution networks considering reliability and a robust framework. Sci Rep 14, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-73808-8
12. Xiangjun Li and Shangxing Wang. Energy Management and Operational Control Methods for Grid Battery Energy Storage Systems. CSEE Journal of Power and Energy Systems, vol. 7, No. 5, September 2021.
13. Hui Song, Chen Liu, Ali Moradi Amani, Mingchen Gu, Mahdi Jalili, Lasantha Meegahapola, Xinghuo Yu, George Dickeson. Smart optimization in battery energy storage systems: An overview. Energy and AI, Volume 17, 2024, https://doi.org/10.1016/j.egyai.2024.100378.
14. Di Wu, Patrick Balducci, Alasdair Crawford, Vilayanur Viswanathan, and Michael Kintner-Meyer. Optimal Control for Battery Storage Using Nonlinear Models. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA 99354.
15. Chen W, Sun N, Ma Z, Liu W, Dong H. A Two-Layer Optimization Strategy for Battery Energy Storage Systems to Achieve Primary Frequency Regulation of Power Grid. Energies. 2023; 16(6):2811. https://doi.org/10.3390/en16062811.

ISSN 3030-3907