

**ՋԵՐՄԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ, ՇՐՋԱԿԱ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ**  
**ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

ՀՏԴ 621.311.61

**Ո.Ձ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Գ.Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Ժ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ**

**ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՒՏԱԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԵՎ ԿՈՒՏԱԿԻՉ  
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Էներգիայի կուտակման հիմնախնդիրը այսօր առավել արդիական և քննախույզ վերլուծության ենթարկվող գիտատեխնիկական խնդիրներից մեկն է: Այդ տեսանկյունից հողվածում փորձ է արվել հնարավորինս մանրամասն ներկայացնել այն կուտակիչ համակարգերը, որոնք կարող են բավականաչափ արդյունավետ դերակատարություն ունենալ որոշակի կոնկրետ խնդիրների լուծման գործընթացում: Մասնավորապես՝ դիտարկվել են էլեկտրաէներգիայի պահպանման թվով հինգ համակարգեր (մեխանիկական, ջերմային, քիմիական, էլեկտրաքիմիական, էլեկտրական):

Նշված շարքում հատկապես ուշադրության են արժանացել բազմակի լիցքավորմամբ էլեկտրալիցքավորման էլեկտրական կուտակիչները, այդ թվում՝ նաև ժամանակակից էլեկտրամոբիլներում կիրառվողները, և նշվել են նաև դրանց հետագա օգտահանման հնարավոր ուղիները: Ներկայացվող նյութում առկա է անդրադարձ նաև ինդուկտիվ, պնևմատիկական և թափանիվային կուտակիչներին:

Բավականաչափ մանրամասն դիտարկվել են պիկային էլեկտրաբեռնվածքների ծածկման և նվազեցված բեռնվածքների գրաֆիկի անկումային ժամանակահատվածներում հիդրոկուտակիչ էլեկտրակայանների կիրառմանն առնչվող հիմնախնդիրները, տրվել են դրանց միջազգային փորձի սեղմ նկարագիրը և հիմնական կոնստրուկտիվ լուծումների տարբերակները՝ հստակորեն արձանագրելով հիդրոկուտակիչ էլեկտրակայանների հարմարադասավորման պարտադիր հիմնական կառուցվածքային տարրերը (վերին կուտակիչ ավազան, ստորին ավազան, ջրընդունիչներ, ջրատարներ և այլն) և ըստ որոշ հատկանիշների՝ այդ էլեկտրակայանների դասակարգման հիմնական սկզբունքները: Որոշակի անդրադարձ է կատարվել նաև ջերմային կուտակիչներին:

**Առանցքային բաներ.** էլեկտրական կուտակիչներ, սեղմված օդի ստորգետնյա կուտակիչներ, իներցիոն կուտակիչներ, սուպերկոնդենսատորներ, ինդուկտիվ (էլեկտրադինամիկ) կուտակիչներ, էլեկտրաքիմիական կուտակիչներ, պնևմատիկ կուտակիչներ, ջերմային կուտակիչներ:

**Ներածություն:** Էներգիայի կուտակման հիմնախնդիրը ներկա ժամանակաշրջանի կարևորագույն գիտատեխնիկական խնդիրներից մեկն է:

Հանածո վառելիքի ռեսուրսները գնալով նվազում են, էներգիան օրեցօր թանկանում է, իսկ էներգիայի կուտակիչը կարող էր հիմնովին օժանդակել էներգախնայողության գործընթացի իրականացմանը:

Առավել ևս, եթե մի փոքր խորհենք հետևյալի առումով. ի՞նչն է առաջնահերթ և ամենապիտանի մարդկության գոյության համար, և ի՞նչն է, որ չի կարելի փոխարինել որևէ ուրիշով, կամ ի՞նչն է, որ չի կորցնի իր նշանակությունը մարդկանց համար, եթե նրանք նույնիսկ տեղափոխվեն այլ մոլորակ: Եվ, որպես պատասխան, կարծում եմ, բոլորդ բոլոր դեպքերում կունենաք միևնույն պատասխանը՝ ԷՆԵՐԳԻԱՆ:

Ահա այս վերջինն է մարդկության համար կարևորագույն սուբստանցիան (substantial substare)՝ գոյություն ունեցող ամեն ինչի անփոփոխ հիմքը:

Անգլիացի «հանելուկային» պոետ Ուիլյամ Բլեյկը այսպես է գրել էներգիայի մասին. «Կյանքն ամբողջությամբ էներգիա է, էներգիա – հավերժական բերկրանք»:

Էլեկտրական բեռնվածքի օրական անհամաչափությունը, էլեկտրասպառման մակարդակի կտրուկ փոփոխությունը (պիկեր և անկումներ) էներգաարտադրողների համար ստեղծում են տեխնիկական հիմնախնդիրներ՝ կապված էլեկտրաէներգիայի արտադրության և սպառման համապատասխանության ապահովման անհրաժեշտության հետ:

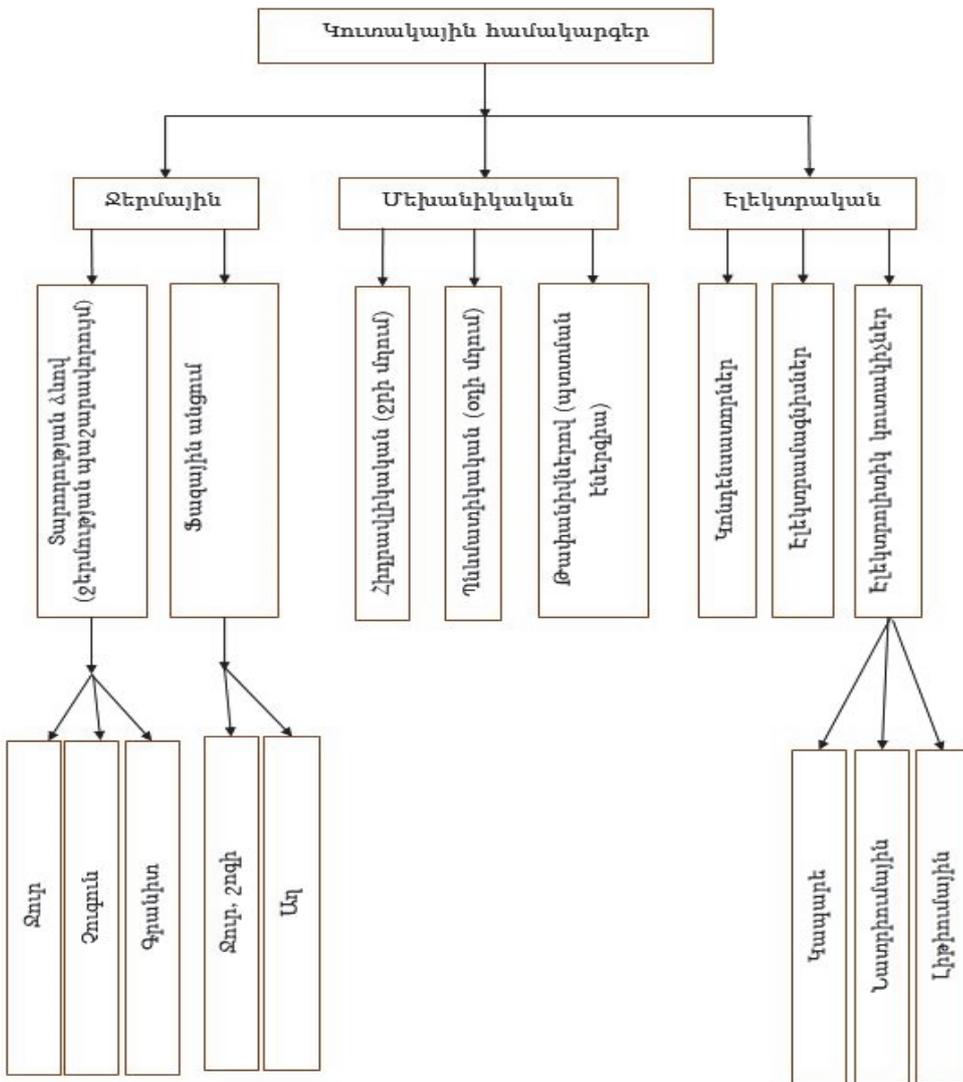
Այդ պրոցեսների համաձայնեցման համար հնարավոր է կառավարման հետևյալ եղանակների կիրառումը.

- արտադրության պրոցեսի «հարմարեցումը» սպառման պրոցեսին և հակառակը,

- նվազագույն սպառման ժամանակահատվածում (բեռնվածքի գրաֆիկի անկման տեղամաս) էլեկտրաէներգիայի ավելցուկի կուտակումը և վերջինիս օգտագործումը առավելագույն սպառման ժամանակահատվածում, այսինքն էլեկտրական էներգիայի կուտակում: Առաջին եղանակը համընդհանուր ընդունելության է արժանացել, սակայն կապված է էներգետիկական ձեռնարկությունների շահագործման պրոցեսի բարդացման և էլեկտրական էներգիա արտադրողների տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների վատացման հետ, ընդ որում, նաև շոշափվում են սպառիչների շահերը: Երկրորդ եղանակն այդ տեսանկյունից առավել հեռանկարային է և վերջին տասնամյակներում համաշխարհային պրակտիկայում ավելի լայն կիրառության է արժանանում: Գոյություն ունեն կուտակման բավականաչափ շատ, գործնականորեն իրականանալի համակարգեր, որոնք նախատեսում են էներգիայի պահպանումը ջերմային, մեխանիկական կամ էլ էլեկտրական էներգիայի տեսքով:

Ստորև բերված նկարում պատկերված են առավել տարածված կուտակիչ համակարգերը, որոնք այս կամ այն չափով գործնականում լայն կիրառություն

են ստացել: Բերված կուտակիչ համակարգերից յուրաքանչյուրն ունի իր առավելությունները, որոնք դրան դարձնում են արդյունավետ՝ կոնկրետ խնդիրների լուծման համար [1]:



Նկ. Կուտակիչ համակարգերի դասակարգումը

Էլեկտրաէներգիայի պահպանման համակարգերի դասակարգումը

Էլեկտրաէներգիայի պահպանման համակարգեր				
Մեխանիկական Պնևմատիկ	Ջերմային	Քիմիական	Էլեկտրաքիմիական	Էլեկտրական
Հիդրոկուտակիչ համակարգեր Pumped storage	Ջերմաքիմիական կուտակիչներ (Thermochemical)	Ջրածնային վառելիքային տարր (hydrogen fuel cell)	Li-ion	Սուպեր կոնդենսատորներ
Սեղմված օդի ստորգետնյա կուտակիչներ (GAES)	Նյութի տաքացման հաշվին էներգիայի պահպանում (Sensible thermal)	Ջրածնի ձևափոխումը մեթանի սինթետիկ գազի (SNG)	Ni-Cd	Գերհաղորդիչ համակարգեր
Հեղուկ օդի պահպանման համակարգեր (LAES)	Հակադարձելի ֆազերով նյութերի օգտագործմամբ էներգիայի պահպանում (Latent thermal)		NaS	
Իներցիոն կուտակիչներ (թափանիվ, flywheel)			LeadAcid	
			Ռեդոքս կուտակիչներ և այլն	

Համառոտ դիտարկենք գործնականում կիրառվող հիմնական կուտակիչները՝ նշելով, որ դրանց մեծ մասն օգտագործվում է տեղային խնդիրների լուծման համար, և շատ փոքրաթիվն է, որ ունի համակարգային նշանակություն և կիրառվում է էներգամիավորումների, ինչպես նաև առանձին ջերմային կամ ատոմային էլեկտրական կայանների ռեժիմների կարգավորման համար:

**Էլեկտրական կուտակիչներ.** Կուտակիչի գործողության սկզբունքը հիմնվում է քիմիական ռեակցիաների հակադարձելիության վրա: Կուտակիչի աշխատունակությունը կարող է վերականգնվել լիցքավորման ճանապարհով, այսինքն այն ուղղությամբ հոսանքի բաց թողմամբ, որը հակառակ է լիցքաթափման ժամանակի հոսանքի ուղղությանը:

Էլեկտրական կուտակիչները կիրառում են, որպես կանոն, միատեսակ մարտկոցների խմբով (բազմակի գալվանական էլեմենտներ) էլեկտրական և կոնստրուկտիվ միացումներով: Կուտակիչների էլեկտրական և շահագործման բնութագրերը կախված են էլեկտրոդների նյութից և էլեկտրոլիտի կազմից:

Աղ. 2-ում տրվել են առավել տարածված էլեկտրական կուտակիչների տեսակները [2]:

Աղյուսակ 2

էլեկտրական կուտակիչների տեսակները և կիրառման ոլորտները

Տեսակ	Էլշուն էլեմենտում,Վ	Կիրառման ոլորտը
Կապարա-թթվային	2,1	Վթարայի էլեկտրամատակարարում, անխափան սնուցման աղբյուրներ, ավտոմոբիլներ, շարժվող մեխանիզմներ և այլն
Նիկել-կադմիումային (NiCd)	1,2	Ստանդարտ գալվանական էլեմենտի փոխարինիչ
Նիկել-մետալհիդրիդային (NiMH)	1,2	էլեկտրամոբիլներ
Լիթիում-իոնային (Li-ion)	3,6	էլեկտրամոբիլներ, մոբիլ սարքեր
Լիթիում-պոլիմերային (Li-pol)	3,6	Մոբիլ սարքեր

Աղյուսակ 2ա

էլեկտրամոբիլները և դրանցում օգտագործվող կուտակիչները

Ավտոմոբիլի տեսակը	Կուտակիչի տեսակը
BMW i3	Li-ion մարտկոց, 33 կՎտժ
Chevrolet Volt	Լիթիումային մարտկոց, 16,5 կՎտժ
Damer E-car	Կապարա-թթվային կուտակիչ, ընդհանուր հզորությունը 12,4 կՎտժ
Fiat 500e	Li-ion հեղուկ հովացուցիչով, 24 կՎտժ
Ford Focus EV	Li-ion մարտկոց, 35 կՎտժ
Lada Ellada	Լիթիում-երկաթ-ֆոսֆատային կուտակիչ, 23 կՎտժ
Mitsubishi iMiev	Li-ion մարտկոց, 16 կՎտժ
Nissan Leaf	Li-ion մարտկոց, 24 կՎտժ
Tesla (Model S)	Li-ion մարտկոց, 85 կՎտժ, 1000D-մոդիֆիկացիան -100 կՎտժ
Tesla (Model 3)	Li-ion մարտկոց, 80,5 կՎտժ, 350 Վ, 230Աժ (long range մոդիֆիկացիա)

Հիբրիդային ավտոմոբիլները և դրանցում կիրառվող կուտակիչները

Ավտոմոբիլի տեսակը	Կուտակիչի տեսակը
Audi Q5 Hybrid	LI-ion մարտկոց , 266 Վ, 1,3 կՎտժ
BMW Active Hybrid 7	LI-ion մարտկոց, 9,2 կՎտժ
BMW Active Hybrid X6	Ni-MH մարտկոց, 2,4 կՎտժ
Chevrolet Volt	LI-ion մարտկոց, 18,4 կՎտժ
Honda Jazz Hybrid	Ni-MH մարտկոց, 100,8 Վ
Lexus,CT 200h	Ni-MH
Mercedes Benz S400 Hybrid	LI-ion մարտկոց, 120 Վ
Porsche Cayenne SE	LI-ion մարտկոց, 10,8 կՎտժ
Deugeot 508 RXH	Ni-MH մարտկոց, մատակարարվում է Sayyo կոմպանիայի կողմից
Toyota Prius Hybrid	Ni-MH մարտկոց, 6,5 Աժ, 37 կՎտ առավելագույն հզորություն
Volvo V60 Plug in Hybrid	LI-ion մարտկոց, 11,2 կՎտժ

Քիմիական էներգիայի պակասեցմանը համընթաց՝ լարումն ու հոսանքի ուժը նվազում են, և կուտակիչը պետք է լիցքավորել: Կուտակիչների մարտկոցի լիցքավորումը կարելի է իրականացնել հաստատուն հոսանքի մեծ լարմամբ՝ ցանկացած աղբյուրից հոսանքի ուժի սահմանափակմամբ:

Ստանդարտ է համարվում այն լիցքավորման հոսանքը, որը հավասար է կուտակիչի կարողության 1/10-ին: Տարբեր տեսակի կուտակիչներն ունեն տարբեր սահմանափակումներ, որոնք անհրաժեշտ է հաշվի առնել լիցքավորման և հետագա շահագործման ժամանակ: Օրինակ, նիկել-մետալիդրիդային կուտակիչները զգայուն են վերալիցքավորման նկատմամբ, լիթիումայինները՝ վերալիցքավորման և ջերմաստիճանի նկատմամբ, նիկել-կադմիումային և նիկել-մետալիդրիդային կուտակիչներն ունեն, այսպես կոչված, հիշողության էֆեկտ, այն է՝ ունակության նվազում, երբ լիցքավորումն իրականացվում է ոչ լրիվ լիցքաթափված կուտակիչի դեպքում, ինչպես նաև օժտված են զգալի ինքնալիցքաթափմամբ:

Հիմնային կուտակիչները (նիկել-կադմիումային, երկաթ-նիկելային) ունեն մի շարք առավելություններ՝ համեմատած թթվայինների հետ, մասնավորապես՝ դրանք կայուն են գերբեռնումների և կարճ միացումների դեպքում, ավելի ամուր են, աշխատում են ջերմաստիճանների ավելի լայն միջակայքում, ունեն ծառայության մեծ ժամկետ, քան կապարա-թթվայինները, և ճիշտ շահագործման պայմաններում դիմանում են 1000 և ավելի լիցքաթափման ցիկլերին:

Էլեկտրամոբիլի և ավանդական ՆԱՇ-ով ավտոմեքենայի լրիվ տնտեսական մրցունակության հասնելու «նպատակային ցուցանիշը» էլեկտրամոբիլի կուտակիչի արժեքի 1,5- 2,0 անգամ իջեցումն է:

Որոշակի խնդիր է դառնում արդեն աշխատած կուտակիչների օգտահանումը:

Li-ion-ային մարտկոցների վերամշակումը բարդ և թանկարժեք միջոցառում է, որը ներառում է՝

- մարտկոցների հավաքում և ընդունումը,
- հեշտ բոցավառվող էլեկտրոլիտների այրումը,
- վտանգավոր քիմիական նյութերի չեզոքացումը,
- մետաղական բաղադրիչների վերածուլումը,
- բարձր գնահատված դուրս կորզված մետաղների մաքրումը,
- չվերականգնվող մնացորդների, ինչպիսին այլումինն է, օգտահանումը [3]:

Մարտկոցների վերամշակումից բացի, գոյություն ունի դրանց կրկնակի օգտագործման տարբերակը՝ որպես էներգիայի կուտակիչ: Ավտոմոբիլային կուտակիչները շարունակում են իրենց հզորության մինչև 70 %- ի չափով մնալ կիրառելի դյուրակիր կենցաղային սարքերի դեպքում, սակայն դրանց օգտագործման հնարավորությունը սահմանափակվում է սպառիչային պահանջարկով՝ նկատի ունենալով կուտակիչների ելակետային չափերը և պարամետրերը:

Հզոր քիմիական կուտակիչները մարտկոցները կիրառում են տիրիստորային ուղղիչ – ինվերտորային տեղակայանքների հետ համատեղ:

Քիմիական կուտակիչների կիրառման միջակայքը բավականաչափ լայն է, սակայն ժամանակակից էներգամիավորումների էլեկտրական ռեժիմների կարգավորման նպատակներով կիրառման տեսանկյունից պիտանի չեն՝ ունակության սահմանափակ լինելու պատճառով: Սակայն ինքնավար փոքր հզորություն գեներացնող սարքերում, որոնք օգտագործում են քամու, արևի և այլ նման այլ աղբյուրների էներգիան, այս կուտակիչ մարտկոցները լայն կիրառություն ունեն:

Կուտակիչ մարտկոցների հեռանկարային տեսակների շարքին կարելի է դասել.

- Գերհաղորդիչ կուտակիչները. էլեկտրակուտակիչ համակարգեր՝ բաղկացած գրոյական դիմադրությամբ անսահման երկար փակ հաղորդչից:

Այս համակարգի առավելությունը կոմպակտությունն է, էներգաունակությունը, շատ երկար ժամանակահատվածում, մինչև հաղորդչի գերհաղորդականության վիճակի պահպանումը՝ առանց կորուստների էներգիայի պահուստավորման ունակության:

Սակայն, հաշվի առնելով այն իրողությունը, որ ներկայումս լայնորեն արտադրվում են միայն, այսպես կոչված, սառը և տաք գերհաղորդիչներ (հելիումի և ազոտի սառնարանային ագենտի ձևով), այդպիսի կուտակիչի երկարատև օգտագործման ժամանակ կպահանջվեն էլեկտրաէներգիայի լրացուցիչ ծախսեր՝ գերհաղորդիչների հովացման համար:

- Պլազմոդ կուտակիչներ, որոնք էներգիայի մեծ քանակության պահպանման համար օգտագործում են պլազմայի երկարակյաց խտուցքը, էներգիազնդային կայծակի տեսքով ստեղծելու հատկություններն ու ունակությունը: Չնայած այս եղանակի ակնհայտ բազմախոստում հեռանկարներին, սակայն այդ ուղղությամբ լայնամասշտաբ հետազոտություններ չեն իրականացվել:

- Կոնդենսատորային կուտակիչներ. համակարգեր, որոնք կուտակում են էլեկտրական լիցքերը և բաղկացած են 2 և ավելի շարժական կամ անշարժ էլեկտրոդներից, որոնք բաժանված են դիէլեկտրիկով: Էներգիայի կուտակիչ կոնդենսատորների առանձնահատկությունը բարձր լարումների (հաջորդական միացում) ստացման համար կոնդենսատորների առանձին բլոկների ստեղծումն է կամ էլ՝ փոքր լարման մեծ իմպուլսային հոսանքների (զուգահեռ միացում) ստացման համար ևս կոնդենսատորների առանձին բլոկների կիրառումը: Այդպիսի միացումների պարագայում իմպուլսային լարումները կարող են հասնել մինչև մի քանի մեգավոլտի, իսկ իմպուլսային հոսանքները՝ մի քանի մեգասամպերի: Ներկայումս ԱՄՆ-ում (Strategic defense initiative- ռազմավարական պաշտպանական նախաձեռնություն ծրագրի աշխատանքների շրջանակներում) ստեղծվել են գերտարողունակ կոնդենսատորներ, որոնք ավելի քան 20 անգամ գերազանցում են ըստ էլեկտրաունակության անալոգ չափերով կոնդենսատորներին, որոնք թողարկվում են արդյունաբերության կողմից:

**Սուպերկոնդենսատորներ.** Սուպերկոնդենսատորները էլեկտրաքիմիական սարքեր են, որոնք համատեղում են կուտակիչ մարտկոցների և կոնդենսատորների հատկությունները: Ի տարբերություն սովորական կոնդենսատորների՝ այս դեպքում էլեկտրոդներն ունենում են տարբեր հաղորդականություն. մեկն օժտված է իոնային, իսկ մյուսը՝ էլեկտրոնային հաղորդականությամբ:

Առավելությունները՝

- լիցքավորում-լիցքաթափում ցիկլի բարձր արագություն՝ շնորհիվ քիմիական ռեակցիայի բացակայության,

- կյանքի երկարատև ցիկլ (մինչև հարյուր հազար լիցքավորման-լիցքաթափման ցիկլ),

- արտաքին ազդեցության նկատմամբ կայունություն (դիմանում է - 40-ից մինչև + 65°C ջերմաստիճանին, վիբրացիոն և հարվածային կայունություն)՝ հոսանքի քիմիական աղբյուրների հետ համեմատ (նույն պարամետրերի) մեծ ելքային հզորություն:

Թերությունները՝

- նույն պարամետրերի քիմիական և էլեկտրաքիմիական կուտակիչների համեմատ էներգիայի ցածր խտություն,

▪ բարձր արժեք:

Սուպերկոնդենսատորները հաճախ օգտագործում են էներգիայի ոչ մեծ չափաքանակների կարճաժամկետ պահման համար (հեռախոս, համակարգիչ, էլեկտրոնային հաշվիչ, ազդանշանման համակարգեր):

Կոնդենսատորային կուտակիչների հիմնական արժանիքը դրանցում շատ կարճ ժամկետներում պահեստավորված էներգիայի կամ մի մասի տալու հատկությունն է, այսինքն այդպիսի կուտակիչն աշխատում է իմպուլսային ռեժիմով: Ուստի կոնդենսատորային կուտակիչների «մեծ» էներգետիկայի նպատակների համար օգտագործելը քիչ հավանական է: Մյուս կարևորագույն թերությունը կոնդենսատորների չնախատեսված ծակման վտանգն է, որը ամբողջ պահեստավորված ակնթարթային անջատմամբ հավասարազոր է պայթյունի:

**Ինդուկտիվ (էլեկտրադինամիկական) կուտակիչներ.** Ինդուկտիվության կոճը կամ դրոսելը ևս հանդիսանում է էներգիայի կուտակիչ, միայն թե այստեղ, ի տարբերություն կոնդենսատորի էլեկտրական հոսանքի՝ էներգիան ձևափոխվում է մագնիսական դաշտի էներգիայի: Հոսանքով հաղորդչի շուրջը ձևավորվում է մագնիսական դաշտ, եթե հաղորդիչը շրջվի դեպի կոճը, ապա մագնիսական դաշտն աճում է կոճում փաթույթների թվին համեմատական:

Մագնիսական դաշտի ինտենսիվությունը բնութագրվում է մագնիսական հոսքի մեծությամբ և կոճի միջով անցնող հոսանքով: Կոճի մագնիսական դաշտի էներգիան կուտակելու հատկությունը բնութագրում է ինդուկտիվության մեծությունը, որը մաթեմատիկորեն հանդիսանում է մագնիսական հոսքի և կոճով անցնող էլեկտրական հոսանքի միջև համեմատականության գործակիցը:

Ինդուկտիվ կուտակիչների էներգաունակության մեծացման համար կիրառում են գերհաղորդական կուտակիչներ: Վերջիններս պահանջում են մեծ թվով օժանդակ սարքավորումներ, որոնք պետք է աշխատանքի ժամանակ սպասարկեն կուտակիչները՝ սառանարանային տեղակայանքներ, կառավարման համար էներգիայի ապահովման համակարգեր, ուղղիչ սարքեր, ձևափոխիչներ և այլն: Գիտնականները իրենց նախագծերում նախապատվությունը տալիս են գիզանտ գերհաղորդական կուտակիչներին, քանզի որքան մեծ է ծավալը, և փոքր՝ կրիոստատի մակերեսը, այնքան շահավետ է կուտակիչը: Ճապոնական գիտնականները հաշվարկել են, որ գերհաղորդական կուտակիչները շահավետ են դառնում այն դեպքում, երբ դրանց էներգաունակությունը գերազանցում է 1 մլն ՄՋ-ն (278 հազ. կՎտժ): Այդպիսի կուտակիչի զանգվածը կհասներ տասնյակ հազարավոր տոննաների: Ֆրանսիական մասնագետների նախագծերից մեկում գերհաղորդական կուտակիչը ներկայացնում է մի գիզանտ կրիոստատ, «օղաբլիթ» (բուբլիկ)՝ 136 մ տրամագծով և 20 մ-ից ավելի բարձրությամբ:

Կրիոստատը լցնում են հեղուկ հելիումով, բացի այդ, նախատեսված է ազոտային էկրան: Գերհաղորդիչների օղակները փակում են պղնձե կամ այլումինե պատյաններով և ուժեղացնում: Փաթույթում հոսում է 140 կԱ մեծությամբ հոսանք, իսկ խտությունը հասնում է 3 կԱ/մմ<sup>2</sup>: Այսպիսի կուտակիչում կարող է կուտակվել մինչև 10 մլն ՄՋ էներգիա (2,78 մլն կՎտժ): Այսպիսի գերհաղորդական կուտակիչները ամենից հաճախ կիրառում են իմպուլսային ռեժիմում, օրինակ՝ միջուկային էներգետիկայում պլազմայի ստեղծման ու պահպանման ժամանակ:

Ավանդական էներգետիկայում գերհաղորդիչ ինդուկտիվ կուտակիչները կարող են կիրառվել էլեկտրափոխանցման գծերով ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների փոխհոսքերի կարգավորման համար՝ հակավթարային ավտոմատ համակարգերում, սինխրոն բեռնվածքի կոնցենտրացիոն հանգույցներում, քարշային ենթակայաններում և այլն: Այլ կերպ, դրանք հաջողությամբ կարող են օգտագործվել էներգահամակարգերի հուսալիության բարձրացման համար՝ արագընթաց պրոցեսների կարգավորման ճանապարհով, սակայն բեռնվածքների օրական գրաֆիկների կարգավորման նպատակով: Դրանց կիրառումը հազիվ թե հնարավոր լինի, քանզի ռեժիմային փոփոխությունների տևողականությունը չափվում է ժամերով, իսկ կուտակիչների աշխատանքի բնույթը իմպուլսային է:

**Էլեկտրաքիմիական կուտակիչներ.** Օգտագործվում է ջրի էլեկտրոլիզ՝ ջրածնի և թթվածնի ստացման համար:

Էներգիայի այլընտրանքային աղբյուրների փնտրտուքը առաջին պլան է մղում նաև ավելի գրավիչ դարձող ջրածնային էներգետիկայի կիրառման հնարավորությունների դիտարկումը, և ջրածինը ոչ հեռու ժամանակներում կարող է դառնալ «երկրորդ նավթը», սակայն հիմնախնդիրը վերջինիս արտադրման պրոցեսի բարձր արժեքն է: Ժամանակակից էլեկտրոլիզային տեղակայանքների օ.գ.գ-ն չի գերազանցում 40 % -ը, ուստի ջրածնի ստացման համար (արդյունաբերական մասշտաբներով) կպահանջվի նոր էլեկտրակայանների կառուցման անհրաժեշտություն, որոնք կաշխատեն միայն ջրի դիսոցման համար:

**Պնևմատիկական կուտակիչներ.** Սա էլեկտրաէներգիայի կուտակումն է սեղմված օդի միջոցով օդաանթափանց ստորգետնյա տարողությունում: Պիկային բեռնվածքի դեպքում սեղմված օդը բաց է թողնվում տուրբինով, որը պտտեցնում է էլեկտրական գեներատորը: Ներկայումս կարող են ստեղծվել 5-ից մինչև 350 ՄՎտ հզորությամբ պնևմատիկական կուտակիչներ: Օրինակ՝ Հունտրոֆ (Գերմանիա) ջերմային էլեկտրակայանում 290 ՄՎտ հզորությամբ պնևմատիկական համակարգն օգտագործվում է բնականոն շահագործման ռեժիմում:

Ռուսաստանում անցյալ դարի 80-ական թվականներին «Հիդրոնախագիծ» ինստիտուտն առաջարկեց Զագորսկի հիդրոկուտակիչ թիվ 2 կայանին կից

կառուցել 50 ՄՎտ հզորությամբ փորձա-արդյունաբերական պնևմատիկական տեղակայանք: Սակայն այդ առաջարկն առայսօր չի իրականացվել, թեպետ այդպիսի տեղակայանքի ստեղծումը շատ օգտակար կլիներ կոնստրուկտավորման, շինարարության և շահագործման տեսանկյունից և թույլ կտար գնահատել դրա լայն կիրառման հեռնկարները:

**Թափանիվային (իներցիոն) կուտակիչներ.** Աշխատում են ի հաշիվ ռոտորի (թափանիվի) մինչև բարձր արագություններ թափառքը և կուտակում էներգիան պտտման էներգիայի ձևով: Թափանիվի արգելակման ժամանակ տեղի է ունենում էներգիայի վերադարձը: Հնէաբանների կողմից հաստատված թափանիվների օգտագործման ակունքները հասնում են հին աշխարհի Ուր քաղաք, որը գտնվում է Միջագետքում, որտեղ էլ անգլիացի հնէաբան Լեոնարդ Վուլլը պեղումների ժամանակ հայտնաբերեց բրուտի հաստոց՝ թրծված կավից պատրաստված մեծ զանգվածի սկավառակով (մոտավորապես մեկ մ տրամագծով և ոչ պակաս հարյուր կգ քաշով): Պտտեցնելով սկավառակը՝ բրուտը կարող էր երկար ժամանակ զբաղվել իր անմիջական գործով, որպեսզի չչեղվեր՝ այն անընդհատ ձեռքով պտտեցնելով: Այդ գաղափարը միայն 1200 տարի հետո կրկնվեց Հին Չինաստանում, որտեղ բրուտագործ Լանգ Շան այդ նպատակների համար պատրաստեց կատարելագործված թափանիվ՝ տաշած քարից: Հերթական թափանիվային սարքը ի հայտ եկավ 1500 տարի հետո, կոմբինացված հողմաղացի հետ, որը ծառայում էր ջրի բարձրացման համար:

Թափանիվային կուտակիչների ստեղծման հիմնախնդիրներից մեկը շատ բարձր պտտուտաթվերի հասնելիս (20-ից 50 հազար պտ/րոպ) ռոտորի մեխանիկական ամրության ապահովումն է: Թափանիվային կուտակիչների առաջին համակարգերում օգտագործվում էին մեծ պողպատյա սկավառակներ, որոնք պտտվում էին մեխանիկական առանցքակալների վրա: Ժամանակակից համակարգերում կիրառում են ածխածնամանրաթելային կոմպոզիցիոն նյութեր, որոնք աչքի են ընկնում կտրվածքի նկատմամբ մեծ ամրությամբ, քան պողպատը, և կարգով ավելի թեթև են: Բացի այդ, ժամանակակից թափանիվների բարձրացված մեխանիկական ամրությունը ապահովվում է սուպերթափանիվի՝ էներգիայի կուտակիչի կիրառմամբ, որը պատրաստված է ոչ թե հոծ սկավառակից, այլ բարակ պողպատե հարյուր և նույնիսկ հազարավոր շերտերով փաթաթված ժապավենից, որը շփման կորուստների կրճատման նպատակով տեղակայված է վակուումացված պատյանում [4]:

Սուպերթափանիվն ունակ է պաշարավորելու մեծ էներգիա միավոր զանգվածին վերագրած՝ ի տարբերություն մնացած հայտնի էներգիայի կուտակիչների: Ժամանակակից սուպերթափանիվային կուտակման Flywheels (անգլերենից

թարգմանվում է «թափանիվներ») համակարգերով ակտիվորեն զբաղվում են արտասահմանում, մասնավորապես՝ NASA-ի Գլեննի հետազոտական կենտրոնում (ԱՄՆ): Ամերիկյան «Beacon Power» կոմպանիան, որը մասնագիտանում է թափանիվային կուտակիչների ուղղությամբ (Flywheel Energy Storage System), հիմնվել է 1997թ., ստեղծել է ծանր ստացիոնար սուպերթափանիվների մի ամբողջ շարք, որոնք նախատեսված են արդյունաբերական էլեկտրացանցերում միացման համար: Սակայն, չնայած սուպերթափանիվների տեխնոլոգիայի կիրառմանը, միավոր մոդուլի հզորությունը արդյունաբերական էներգետիկայի տեսանկյունից մեծ չէ: Այսպես, սուպերթափանիվային Smart Energy-25 մոդելի անվանական հզորությունը կազմում է 100կՎտ՝ 25կՎտժ էներգիայի կուտակման ծավալով [5]:

Ներկայումս սուպերթափանիվային կուտակիչները հիմնականում օգտագործվում են փոքր հզորությամբ էլեկտրամատակարարման տեղային համակարգերի երաշխավորված սնուցման համար, հեռահաղորդակցության համակարգերում, հաշվողական կենտրոններում և այն սպառիչներում, որոնք պահանջում են էլեկտրամատակարարման շատ բարձր հուսալիություն:

Գործնականորեն ամբողջ աշխարհում ժամանակակից էներգամիավորումներում համարյա բացառիկ տարածում ունի հիդրոկուտակավորումը, այսպես կոչված, հիդրոկուտակիչ էլեկտրական կայանների ձևով (ՀԿԷԿ կամ հիդրոակումուլյացիոն էլեկտրական կայան - ՀԱԷԿ):

Պիկային էլեկտրաբեռնվածքների ծածկման և նվազեցված էլեկտրասպառման պայմաններում բեռնվածքների գրաֆիկի անկումային ժամանակահատվածի անցումը ամբողջ աշխարհում գնալով դառնում է ավելի արդիական և հիմնախնդրային, հատկապես քիչ մանրային հզոր տուրբոտեղակայանքներով կահավորված ջերմային և ատոմային էլեկտրակայաններ ունեցող համակարգերում: Պակաս կարևոր չէ նաև տնտեսական տեսանկյունից ավելի շահավետ հիդրոռեսուրսների օգտագործման հանգամանքը: Այդ հիմնախնդրի հնարավոր և արդյունավետ լուծումներից են հզոր ՀԿԷԿ-ների շինարարությունն ու շահագործումը, որոնք բնութագրվում են պիկային էլեկտրակայանի և սպառիչ - կարգավորիչի յուրօրինակ զուգակցմամբ, որն ունակ է օրական գրաֆիկի գիշերային անկման ժամանակահատվածում ապահովելու ՋԷԿ-երի և ԱԷԿ-ների ավելցուկային էլեկտրական հզորության սպառումը: Բացի այդ, այդ էլեկտրակայանին վերապահվում է էներգահամակարգում հաճախության և լարման կարգավորման գործառույթը:

ՀԿԷԿ-ի աշխատանքը, ինչպես էներգիայի մնացած կուտակիչների դեպքում, հիմնվում է երկու ռեժիմների հերթագայման վրա՝ էներգիայի կուտակում (լիցքավորում) և վերջինիս մատուցումը սպառիչներին (լիցքաթափում):

ՀԿԷԿ-ների լիցքավորումն իրականացվում է էլեկտրական շարժաբերով հիդրոմեքենաների միջոցով ստորին ջրամբարից ջրի բարձրացմամբ վերին կուտակիչ ավազան: Լիցքավորումը, որպես կանոն, իրականացվում է էլեկտրասպառման գիշերային անկումների ժամանակ, երբ էներգահամակարգում, կապված կարգավորման հիմնախնդիրների հետ, առաջանում է գեներացված հզորության ավելցուկ:

Լիցքաթափման ժամանակ, որն իրականացվում է էլեկտրական բեռնվածքների առավելագույնի պայմաններում կամ էներգահամակարգում վթարների դեպքում, վերին ավազան մղված ջրի պոտենցիալ էներգիան ձևափոխվում է էլեկտրականի: Ընդ որում, վերին ավազանից ստորինին տրվող ջուրը բաց է թողնվում հիդրոտուրբինների կամ էլ հակադարձելի հիդրոմեքենաների միջով, որոնք աշխատում են տուրբինային ռեժիմում դարձափոխիչ էլեկտրամեքենաների հետ համատեղ: Վերջիններս գեներացնում են էլեկտրական հոսանքը՝ ինչպես սովորական հիդրոէլեկտրակայաններում: Այսպիսով, ՀԿԷԿ-ները լիցքավորման ժամանակ աշխատում են որպես պոմպակայաններ, իսկ լիցքաթափման ժամանակ՝ որպես ՀԷԿ:

ՀԿԷԿ-ների շինարարությունը սկսվել է Արևմտյան Եվրոպայում XIX դարի վերջում՝ 1882թ.: Շվեյցարիայում՝ Յյուրիխի մոտակայքում, կառուցվեց Լետտեն տեղակայանքը՝ կահավորված 51,5 կՎտ հզորությամբ երկու պոմպերով (յուրաքանչյուրը), որոնք ջուրը մղում էին 153 մ բարձրության վրա գտնվող 18 հազ. մ<sup>3</sup> տարողությամբ ջրամբար: 1894թ. Իտալիայում՝ մանվածքային ֆաբրիկայում, շահագործման հանձնվեց Կրեվա-Լունիո 50 կՎտ հզորությամբ տեղակայանքը, որի զարգացրած էջը 64 մ է: Տեղակայանքն աշխատում էր կուտակման շաբաթական ցիկլով՝ շաբաթ և կիրակի օրերին պահեստավորված ջրի ծավալն օգտագործվում էր աշխատանքային օրերին:

Ներկայումս ամբողջ աշխարհում շահագործվում են թվով 460 ՀԿԷԿ, իսկ 30-ը գտնվում են նախագծման և շինարարության փուլում:

Նոր ՀԿԷԿ-ների հնարավոր շինարարության պոտենցիալն ու մասշտաբները կարելի է գնահատել միայն մի օրինակով. անցյալ հարյուրամյակի 70-ականների կեսերին ԱՄՆ-ում հետազոտությունների արդյունքում բացահայտվեցին ավելի քան 700 տեղամասեր Արիզոնա, Կալիֆորնիա, Նևադա, Յուտա, Այդահո, Օրեգոն, Մոնտանա նահանգներում և Վաշինգտոնի օկրուգում, որոնք ունեն ՀԿԷԿ-ների կառուցման բարենպաստ պայմաններ 2000 ԳՎտ պոտենցիալ հզորությամբ:

Ժամանակակից ՀԿԷԿ-ների տեղակայված հզորությունների միջակայքը տատանվում է բավականաչափ լայն սահմաններում: Գումարային 100 ՄՎտ

տեղակայված հզորությամբ ՀԿԷԿ-ների թվից մոտավորապես 50 %-ն ունի 500 ՄՎտ տեղակայված հզորություն, 31 %-ը՝ 500-ից մինչև 1000 ՄՎտ հզորություն և միայն 5 %-ը՝ 1500 ՄՎտ և ավելի: Ըստ տեղակայված հզորության՝ առավել խոշորները ԱՄՆ-ում են՝ Լադիգտոն (1800 ՄՎտ), Ռեկկուն-Մաունտին (1600 ՄՎտ) և այլն: ՀԿԷԿ-ների տեխնիկա-տնտեսական ցուցանիշները կախված են հիմնականում հետևյալ գործոններից՝

- տեղակայված հզորության և էջքի մեծություններից,
- շինարարության վայրի տոպոլոգիական պայմաններից,
- պատրաստի բնական կամ արհեստական ջրամբարների առկայությունից,
- մատուցող և հեռացնող ջրատարների տեսակից և երկարությունից,
- էներգամիավորման աշխատանքի կոնկրետ պայմաններից, մասնավորապես՝ էլեկտրական բեռնվածքների կոնֆիգուրացիայից, ԷԿ-երի տեսակից և հզորությունից, հզորության պաշարի առկայությունից:

Ժամանակակից ՀԿԷԿ-ների նախագծման և շինարարության ժամանակ նկատվում է էջքերի և ագրեգատների միավոր հզորության մեծացման միտում:

Ժամանակակից ՀԿԷԿ-ների զարգացրած էջքերի մեծացման միտումը բնական է, քանզի ինչպես հիդրոագրեգատների հզորությունը ուղիղ համեմատական է, իսկ ջրի տեսակարար ծախսը և համապատասխանաբար ավազանների ծավալն ու հիդրոագրեգատների գաբարիտները հակադարձ համեմատական են էջքին:

Էջքի մեծացման նույն հզորության պայմաններում կարելի է զգալիորեն կրճատել վերին և ստորին ավազանների տարողությունը և, հետևաբար, նվազեցնել դրանց կառուցման աշխատանքների ծավալն ու արժեքը:

100 ՄՎտ հզորությունից ավելի հզորությամբ ՀԿԷԿ-ների թվի 23 %-ն ունի 500 մ-ից ավելի էջք, իսկ 58 %-ը՝ 300 մ-ից ավելի: Ամենամեծ էջքերով ՀԿԷԿ-ները շահագործվում են Ավստրիայում (Ռայսենկ-Կրայսենկ - 1767 մ և Էցտալ - 1655 մ) և Իտալիայում (Սան-Ֆիոզանո - 1417 մ, Չիոտասս - 1047 մ և Էդոլյո - 1070 մ):

Ի տարբերություն ՀԷԿ-երի՝ ՀԿԷԿ-ները ներկայացնում են կառույցների և սարքավորումների համալիր, նախատեսված ոչ միայն էլեկտրաէներգիայի գեներացման, այլև կուտակման համար: Ուստի, մեծ չափով պահպանելով կոնստրուկտավորման և հարմարադասավորման նմանությունը սովորական ՀԷԿ-երի հետ, ՀԿԷԿ-ներն ունեն իրենց առանձնահատկությունները: Մասնավորապես՝ ՀԿԷԿ-ների պարտադիր հարմարադասավորման տարրերն են՝

- վերին կուտակիչ ավազան,
- ստորին ավազան,
- ՀԿԷԿ-ի շենքը,
- ջրընդունիչ (մեկ կամ երկու),
- ջրատարներ:

Էջքերի լայն միջակայքը և կիրառվող սխեմաների բազմազանությունը պայմանավորում են հնարավոր համարադասավորման լուծումների մեծ թիվը, որոնք առաջին հերթին կախված են տեղանքի ռելիեֆից և երկրաբանական պայմաններից: ՀԿԷԿ-ների դասակարգումը կարող է իրականացվել մի շարք հատկանիշներով՝

- ՀԿԷԿ-ի համատեղումը սովորական ՀԷԿ-ի հետ՝ համատեղված և չհամատեղված,
- էջքի կոնցենտրացման սխեմայի համաձայն՝ ամբարտակային և դերիվացիոն,
- ըստ գործող էջքի մեծության՝ ցածր էջքային (40-60 մ), միջին էջքային (120-150 մ) և բարձր էջքային (200 մ-ի ավելի),
- ըստ հիդրոհանգույցի տարրերի հարմարադասավորման՝ վերգետնյա, ստորգետնյա կամ կիսաստորգետնյա մեքենայական շինություններով,
- էջքային ջրատարների կոնստրուկցիայից կախված,
- բաց կամ ստորգետնյա տեղակայմամբ,
- ըստ վերին և ստորին ավազանների կոնստրուկցիայի՝ արհեստական ստեղծված կամ բնական ավազաններով (այդ թվում՝ կարող են օգտագործվել ՀԷԿ-երի, ՋԷԿ-երի և ԱԷԿ-ների ջրամբարները),
- ըստ բնական ջրահոսքի առկայության,
- դեպի վերին ավազան հոսքով, ստորին ավազան հոսքով,
- ըստ հիմնական հիդրոէներգետիկական սարքավորման հարմարադասավորման՝ երկմեքենայական, եռամեքենայական կամ քառամեքենայական հիդրոագրեգատներով,
- պոմպային կուտակման ցիկլի տևողականության,
- օրական, շաբաթական և սեզոնային (տարեկան) ցիկլով աշխատանքային ռեժիմներով:

**Ջերմաքիմիական կուտակիչներ (Thermo-chemical).** Ջերմաքիմիական կուտակիչներում ընթանում է հակադարձելի էնդո/ էկզո-թերմիկ ռեակցիա, որի ընթացքում ջերմաքիմիական նյութը կուտակում է ջերմային էներգիա և անջատում այն: Պահպանման էներգատարությունը կազմում է 100÷500 կՎտժ/մ<sup>3</sup>:

Առավելությունները.

- առավել բարձր էներգաունակություն՝ ի համեմատ այլ ջերմային կուտակիչների,
- քիմիական պոտենցիալի տեսքով էներգիայի պահպանման պարագայում ջերմության կորուստները գրեթե բացակայում են,

- պահանջվող նյութի քանակը բավականաչափ փոքր է, ինչը հնարավոր է դարձնում տեխնոլոգիայի կիրառումը տնային տնտեսությունում,

- ջերմաստիճանների լայն դիապազոն, որոնց դեպքում իրականացվում է լիցքավորումը, նյութի ցածր արժեք:

Թերությունները.

- ջերմա- և զանգվածափոխանակության բավականաչափ ցածր արագություն,

- օգտագործվող նյութերից ոչ բոլորն են ենթակա վերամշակման,

- հիդրացիայի պրոցեսում նյութի անցանկալի շերտի գոյացում:

#### **Նյութի տաքացման հաշվին էներգիայի պահպանում (Sensible thermal).**

Ջերմային էներգիայի պահպանման առավել տարածված եղանակն է: Ջերմությունը պահպանվում է միջանկյալ նյութի (ջուր, օդ, յուղ, լեռնային ապարների շերտ) տաքացման հաշվին: Տարածված է ստորգետնյա պահեստարանների օգտագործման տեխնոլոգիայի կիրառումը.

- UTES, Underground thermal energy storage,

- AIES. Aquifer thermal energy storage - պահպանումը ջրաբեր շերտերի օգտագործմամբ,

- BTES. Borehole thermal energy storage - ուղղահայաց գրունտային ջերմափոխանակիչների կիրառմամբ,

- CTES - thermal energy storage in cavern - բնական ապարներում առկա խոռոչներում պահպանում) [5]:

**Հակադարձելի ֆազերով նյութերի օգտագործմամբ էներգիայի պահպանում (Latent thermal).** էներգիայի պահպանման այս եղանակի դեպքում օգտագործվող նյութը փոփոխում է իր ֆիզիկական վիճակը (պնդից հեղուկ): Ընդ որում, ջերմաստիճանը մնում է համեմատաբար կայուն՝ հալման ջերմաստիճանի մակարդակի վրա: Առավել հաճախ օգտագործվում է ջուրը, ինչպես նաև աղերի լուծույթները (ցածր ջերմաստիճաններում պարաֆին, յուղաթթուներ, շաքարասպիրտ (0-ից մինչև 130 °C), ոչ օրգանական նյութեր, աղեր (150 °C-ից բարձր): 250 °C-ից ավելի ջերմաստիճաններում առավել հետաքրքրություն են ներկայացնում աղերը (նիտրատները, քլորային աղերը, ֆոսֆատները, սուլֆատները և այլն):

Առավելությունները.

- էներգիայի նշանակալից ծավալների պահպանում,

- ջերմաստիճանների նվազագույն տարբերություն, ինչը հնարավոր է դարձնում ջերմային կորուստների նվազեցումը:

Թերությունները.

- էներգիայի ստացման ցածր արագություն:

## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Макаров А.А.** Системные исследования развития энергетики.-М.: Издательский дом МЭИ, 2015.-280 с.
2. **Рыкованов А., Румянцев А., Беляев С.** Современные литий-ионные аккумуляторы. Батареи на их основе // Компоненты и технологии.- 2015.- № 5 (166).- С. 81-85.
3. **Рыкованов А., Румянцев А., Беляев С.** Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция // Компоненты и технологии.- 2013.- № 11.- С. 111-116.
4. **Соколов М.А., Томасов В.С., Ястржебски Р.П.** Сравнительный анализ систем запасаения энергии и определение оптимальных областей применения современных супермаховиков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.-2014. -Vol. 4, № 92.- 155 с.
5. IEA, Energy Technology Perspectives 2017 // International Energy Agency. - Paris: OECD, 2017.- 440 с.

**В.З. МАРУХЯН, Г.П. ВАРДАНЯН, А.Ж. ХАЧАТРЯН**

### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И НАКОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Сегодня накопление энергии является одной из самых актуальных и тщательно анализируемых научно-технических проблем. В этой связи в статье сделана попытка представить те накопительные системы, которые могут сыграть достаточно эффективную роль в процессе решения конкретных задач. В частности, рассмотрены пять систем для сохранения электрической энергии (механическая, тепловая, химическая, электрохимическая, электрическая).

Особое внимание уделено многократным зарядным электрическим накопителям, рассмотрены возможные пути их дальнейшего применения.

Достаточно подробно представлены проблемы использования гидроаккумулирующих электростанций, приведено описание международного опыта и основных конструктивных решений и элементов этих установок (верхний накопительный бассейн, нижний бассейн, водозаборники, водоводы и т.д.), а также основные принципы классификации этих электростанций по ряду характеристик.

В статье также затронуты вопросы тепловых накопителей.

**Ключевые слова:** электрические накопители, подземные накопители сжатого воздуха, инерционные накопители, суперконденсаторы, индуктивные (электродинамические) накопители, электрохимические накопители, пневматические накопители, тепловые накопители.

V.Z. MARUKHYAN, G.P. VARDANYAN, A.Z. KHACHATRYAN  
ANALYSIS OF ELECTRICITY STORAGE METHODS AND STORAGE  
SYSTEMS

The issue of energy storage is one of the most relevant and thoroughly analyzed scientific and technical challenges today. From this perspective, the article attempts to present, as thoroughly as possible, the energy storage systems that can play an effective role in solving specific problems. Specifically, five systems for electrical energy storage are discussed (mechanical, thermal, chemical, electrochemical, and electrical).

Among these, particular attention is given to rechargeable electrical energy storage devices, including those used in modern electric vehicles, and potential future pathways for their further application are highlighted. The article also touches upon inductive, pneumatic, and flywheel storage systems.

The paper examines in detail the issues related to the use of pumped-storage hydroelectric plants for covering peak electrical loads and during the decline in load during off-peak periods. It provides a concise description of international experience and the main design solutions, clearly noting the essential structural elements required for the operation of pumped-storage hydroelectric plants (upper reservoir, lower reservoir, water intake structures, water conduits, etc.), as well as the main principles of classifying these plants based on various characteristics.

The article also discusses thermal energy storage systems.

**Keywords:** electrical accumulators, underground compressed air accumulators, inertial accumulators, supercapacitors, inductive (electrodynamical) accumulators, electrochemical accumulators, pneumatic accumulators, thermal accumulators.

ՀՏԴ 621.175

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ե.Ք. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Զ. ԿԻՍՏՅԱՆ

ՋԷԿ-ԵՐԻ ԵՎ ԱԷԿ-ՆԵՐԻ ՉՈԳԵՏՈՒՐԲԻՆՆԵՐԻ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ  
ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԱՀԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՈՐՈՇ ՀԱՐՑԵՐԻ  
ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ

Հետազոտվել են ՋԷԿ-երի և ԱԷԿ-ների շոգետուրբինների կոնդենսատորների հուսալիության (հիդրավլիկ կիպության տեսանկյունից) և ջերմատեխնիկական ցուցանիշների բարձրացման ուղիները՝ հովացնող խողովակների ներքին մակերևույթների մաքրության պահպանմամբ, կոռոզիակայուն մետաղների կիրառմամբ, խողովակային համակարգի ժամանակին կատարված արատորոշմամբ (դիագնոստիկայով), կոնստրուկտորա-նախագծային ճիշտ լուծումներով և կատարելագործմամբ:

**Առանցքային բառեր.** ՋԷԿ, ԱԷԿ, կոնդենսացիոն տեղակայանք, հովացնող ջուր, կոնդենսատ, հիդրավլիկ կիպություն, ջերմատեխնիկական ցուցանիշներ, կոռոզիակայուն մետաղներ:

ՋԷԿ-երի և ԱԷԿ-ների աշխատանքի երկարամյա փորձը վկայում է, որ կոնդենսատորների հիդրավլիկ կիպությունը հանդիսանում է տուրբատեղակայանքի