

«Сейфуллин оқулары-14: Жастар, ғылым, инновациялар: цифрландыру – жаңа даму кезеңі» атты Республикалық ғылыми-теориялық = Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения-14: Молодежь, наука, инновации: цифровизация – новый этап развития». - 2018. - Т.1, Ч.3 – Б. 86-89

СИНУСОИДАЛЫ ЕМЕС ЖӘНЕ ТЕҢГЕРІЛМЕГЕН ТОКТАРДЫ ЕСКЕРІЛЕ ОТЫРЫП, ЭЛЕКТР БЕРІЛІС ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ШЫҒЫНДАРЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

*Т. Акимжанов, Е. Тасқали,
Р. Камал, Қ. Қисабаев*

Электр энергиясы басқа өнім түрлерінен ерекшелетіні, ол өнімнің өзіндік бөлігін тұтыну арқылы тасымалданады, сондықтан электр энергиясының жоғалуы сөзсіз. Дегенмен, өндірушіден тұтынушыға келмеген электр энергиясының бір бөлігі ғана таза шығындарға жатқызылуы мүмкін. Өнеркәсіптік құжаттардың тағы бір бөлігі “электр тораптарынан электр энергиясын беру үшін технологиялық тұтыну” деп аталады. Төменде «шығындар» термині қажет болған жағдайда «технологиялық шығындар», «техникалық шығындар», «коммерциялық шығындар» терминдерімен пайдаланылады [1]

Қазіргі уақытта Қазақстанның электр желілерінде кернеу классына байланысты электр энергиясының шығыны 5%-дан 20%-ға дейін аралығында. Жекелеген желілерде (Қызылорда РЭЦ, Көкшетауэнерго, ТАТЭК) электр қуатының шығыны 18-19%. Электр энергиясын тасымалдаудың тиімділігі тұрғысынан Қазақстандағы энергетикалық сектордың жағдайын әлемдік деңгейде келесідей [2, 3]: Үндістан – 25%, Мексика – 16,2%, Бразилия – 16,6%, Ресей және Қазақстан – 12%, Қытай және Еуроодақ-27 – 6,7%, АҚШ – 6,2%, Канада – 7,3%, Жапония – 4,6%, Бүкіл әлем – 8,8%.

Зерттеудің басты тақырыбы – электр тораптарындағы электр қуатының жоғалу деңгейіне әсерін есепке алу. Өкінішке орай, қазіргі уақытта техникалық шығындарды есептеу кезінде электр энергиясының төмен сапасына байланысты шығындар синусоидалық емес және асимметрия сияқты көрсеткіштер ескерілмейді. Сонымен қатар жоғары гармоникалық ток компоненттері мен теріс тізбектегі токтардан электр энергиясын жоғалту деңгейлері туралы білу электр желілеріндегі шығындарды азайту бойынша тиімді шараларды әзірлеуге ықпал етуі мүмкін. Бұл электр энергиясының шығындарын есептеуде электр энергиясының сапасын есепке алудың алғашқы аспектісі. Екінші аспект - тарифтерді қалыптастыру мәселесі. Электр энергиясына арналған тариф екі компоненттен тұрады: а) электр желілеріне қызмет көрсету арналған төлем; және б) оны тасымалдау және тарату үшін электр энергиясын технологиялық тұтыну үшін төлем. Коммерциялық шығындар тарифке енгізілмейді, себебі оларды есептеудің мүмкін еместігі мен кейбір физика мен экономика туралы жалпы заңдарымен

негізделуі мүмкін. Осылайша, жалпыға бірдей қабылданған «әдістеме» токтардың синусоидалық емес және асимметриясына байланысты шығындарды қарастырмағандықтан, олар автоматты түрде коммерциялық санатқа түседі де және тарифке қосылмайды (шын мәнінде олар техникалық болып табылады).

Бұл жағдай электр энергиясы кәсіпорындарының табысын жоғалтуына әкеліп соғады, сондықтан мемлекет бюджетте салық берешегі бар [4]. Мысалы, 1966-1970 жылдары. 6-10 / 0,4 кВ УКС электр желілерінде асимметриядан қосымша шығындар 1080 ГВт сағ құрады, бұл симметриялық режимдерден 39% жоғары [5].

Болашақта шығындарын реттеу үшін есептеу базалық кезеңдегі шығындардың есебі негізінде анықталады, оның деңгейі сенімділікпен қол жеткізілуі керек. Негізгі кезеңдегі қуат шығындарын анықтау кезінде қуат шығындарын есептеу компьютерлерде «РТП 3.1» және «РАП-Стандарт» орындалады. Кейде есептеулер «Дакар», «Мустанг», «Евростаг» және «RastrWin» сияқты тұрақты режимдерді есептеу үшін программалық пакеттерді қолдана отырып жүзеге асырылады [6]. Есептеу бақылау өлшемдерімен алынған ақпаратқа уақыт бойынша бір ғана моментте (мысалы, түнгі ең төменгі, күнделікті максимум және т.б.) негізделеді. Жеткілікті сенімділікті қамтамасыз ету үшін 1 сағат аралығындағы есептеулерді орындау қажет, ол үшін тәулік ішінде 24 сағат ішінде өлшеулер жасалуы керек, бірақ іс жүзінде бұл өзгеше болады. Қосалқы станцияларда осындай өлшемдермен айналысатын адамдар аз. Барлық қосалқы станциялар заманауи телеметрия жүйелерімен жабдықталмаған [6].

Қолда бар кемшіліктерді толық көрсету үшін, ұсынылған [7] (қазақстандық әдістердің негізінде жатыр) шартты тұрақты уақыт аралығы үшін әуе желісіндегі электр энергиясының жүктеме шығындарын есептеу тәртібі. Кабіл желілері, шиналар немесе қосалқы трансформаторлар үшін (бұдан басқа «элементтер») электр желісіндегі жүктеме шығындарын есептеу формуласы:

$$DW_{nj} = 3 \times R \times \sum_{j=1}^M (I_j^2 \times \Delta t_j) \times 10^{-3} = R \times \sum_{j=1}^M \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_j^2} \times \Delta t_j \times 10^3, \text{ кВт} \times \text{ч} \quad (1)$$

мұндағы, R – активті кедергі элементі, Ом; I_j – жүктеме тоғы элементі, Δt_j уақыт аралығындағы өзгеріссіз, А; P_j, Q_j - элементтің активті және реактивті қуаты, тиісінше, Δt_j уақытша интервалында қабылданбаған, МВт, Мвар; U_j - өзгеріссіз Δt_j аралығындағы элемент бойынша кернеу шамасы, кВ; Δt_j - R кедергісі бар желі элементінің жүктемесі өзгермейтін деп есептелетін уақыт интервалы; M - базалық кезеңде уақыт аралығы Δt_j.

Жоғарыда көрсетілгендей, жүктеме шығындарының 86% -ы бар әуе желісі үшін осы екі параметрді қарастырайық. Әуе желісінің активті кедергісі сымдардың анықтамалық деректері негізінде есептеледі [8]:

$$R_{\text{вд}} = r_0^{20} \times (1 + 0,004 \times (Q - 20)) / n_{\text{ц}}, \text{ Ом} \quad (2)$$

мұндағы, r_0^{20} - 1 км сымға 20 °С температурасында, Ом / км; L - сызықтың ұзындығы, км; Θ - базалық кезеңдегі орташа сым температурасы, ° С; $n_{ц.}$ - параллель тізбектердің саны.

Іс жүзінде сымның температурасы әдетте белгісіз, сондықтан есептеу үшін оны 20 ° С-қа теңестіруге болады. Бір сымның белсенді қарсылығын есептеуден кейін, формула бойынша (1) көрсетілгендей, ол 3-ке көбейтіледі. Осылайша, бүкіл әуе желісінің белсенді қарсылығы есептеледі.

Токтың тұрақты мәні мына формула бойынша анықталады:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (3)$$

(1) формула бойынша, $I_j^2 = \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_j^2}$, токтың квадраты, әуе желісі

бойынша өтетін, фазалық кернеу, активті және реактивті қуаттар туралы деректер негізінде есептеледі. Бұл үш фазадан тұратын тікелей тізбектің жалпы ток есепке алынатынын көрсетеді. Бұл ағымдардың симметриялық жүйесі болып табылады. Энергия желілеріндегі активті қуат шығындарын есептеу үшін әзірленген, желілік элементтердегі жоғары гармоникалық ток компоненттерінің болуын ескеретін тәсілдер үлкен қызығушылық тудырады.

[9] тармақшасына сәйкес ток желісіндегі жоғары қуатты гармоника ағынынан туындаған активті қуаттың қосымша шығыны мынадай формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$DP_{Sv} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_1 k_{rv}, \quad (4)$$

мұндағы, v - гармоника саны; n - ескерілетін гармоника саны; I_v - v th гармоникасының ағымы; R_1 - негізгі жиілікте активті кедергі; k_{rv} - бұл бет әсерін ескеретін коэффициент. Әдетте, ол тең қабылданады: $k_{rv} = 0,47\sqrt{v}$.

[9] әдебиетінде жақындаған өрнектер $k_{rv}(v)$ тәуелділіктен тұрады, бұл үлкен шығындар шамасын береді. Жоғары деңгейдегі жиіліктерде әртүрлі сымдардың активті кедергісін анықтауға арналған өрнектер: АС-400 үшін $k_{rv}(v) = 0,3v$; А-400 үшін $k_{rv}(v) = 0,15v$; Мыс кабелі үшін $k_{rv}(v) = 0,06v$; Алюмин кабелі үшін $k_{rv}(v) = 0,06v$.

Жоғары жиіліктегі өткізгіштің нақты активті кедергісі анықталады;

$$r_{0v} = r_0 (k_{Iv} + k_{\sigma v}), \quad (5)$$

мұндағы, r_0 - тұрақты ток өткізгіштің кедергісі (температураны ескере отырып); k_{Iv} - гармоника үшін бет әсерін ескеретін коэффициент және тең:

- Мыс үшін $k_{Iv} = 0,021\sqrt{f}$;
- Алюминий үшін $k_{Iv} = 0,01635\sqrt{f}$.

$k_{\sigma v}$ коэффициенті v -ші гармоникасы үшін жақындылықты ескереді және келесі формула бойынша анықталады:

$$k_{\sigma v} = \frac{1,18 + k_{Iv} \frac{\alpha d}{\xi a} \frac{\sigma}{\delta}}{k_{Iv} + 0,27 \frac{\alpha d}{\xi a} \frac{\sigma}{\delta}}, \quad (6)$$

мұндағы, d - өткізгіш диаметрі, мм; a - сым орталықтарының арасындағы қашықтық, мм.

Кабель желілеріне жақындық әсері ескерілуі керек. Әуе желілері үшін, егер $a > 50$ болса, жақындық әсері есепке алынбайды және [10-11] сәйкес электр желісіндегі жоғары гармоникадан шыққан шығынды есептеуге арналған өрнек келесі түрде болады:

$$DP_{Sv} = 3r_0 l \sum_{v=2}^n I_v^2 (k_{Hv} + k_{\sigma v}), \quad (7)$$

[11]- әдебиетінде қарастырылған қосымша шығындарды есептеу моделі желінің жұмыс режиміне әсер ететін көптеген факторларды ескереді;

- желі параметрлерінің асимметриясы;
- сызықтық параметрлерінің ассиметриясы;
- жоғары гармоникадағы сызықты режим дердің ассиметриясы;
- жоғары гармоникадағы параметрлерді бөлінуі;
- найзағайдан қорғау кабелінің болуы.

Электр қуатының жоғалуын есептеудің бұл моделі ассиметриядан және синусоидалы емес басқада тікелей тізбектің ағымдарынан негізгі шығындардан бөлуге мүмкіндік береді. Негізгі және қосымша қуат шығындарын есептеу формуласы төменде келтірілген:

$$DP_S = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^K r_{i(k)} \int_0^l \dot{y}_{i(k)}^2(x) dx, \quad (8)$$

мұндағы, m - сызықтағы сымдардың саны; K - есептеу кезінде қарастырылатын гармоника саны; $r_{i(k)}$ - формула бойынша анықталған k -ші гармоника жиілігінде i -ші сымның сызықтық кедергісі: $r_{i(k)} = r_{i,(0)} \sqrt{k}$; $I_{i,k}(x)$ – кернеулер мен токтардың есептік мәндерімен қимадан x -қашықтықта k -ші гармоника жиілігінің i -ші сымның ток тиімді мәнін; l - әуе желісінің ұзындығы.

[9] әдебиетінде «қосымша шығындардың салыстырмалы құны» ұғымы автордың пікірі бойынша кішігірім жиіліктегі шығындармен салыстырғанда - 1-2% -дан аспайды, бұл жоғалып кетуден әлдеқайда аз реактивті қуат. Алайда, қосымша шығындар желінің бір элементі үшін елеусіз болуы мүмкін екенін есте ұстаған жөн, бірақ тұтастай желі бойынша жалпы қосымша шығындар елеулі болуы мүмкін.

Қорытынды

1. Қазақстанның электр желілеріндегі электр энергиясының жоғалтуының нақты деңгейі ОЭСР елдеріндегі шығындар деңгейіне қарағанда жоғары. Бұл Қазақстандағы электр энергиясының тиімділігін арттырудың өзектілігін айғақтайды. Желілердің энергия тиімділігін жоғарылатудың шынайы әлеуетін және оны іске асыру әдістерін анықтау, жоғалту құрылымын егжей-тегжейлі зерделеу, артық жоғалту көздерін анықтау және олардың деңгейін төмендету бойынша тиімді шараларды әзірлеуге жөн.

2. Электр желілеріндегі шығындарды есептеу әдістемесі негізінен карапайым және дәлдікке зиян тигізу үшін пайдаланылады. Олар токтардың синусоидалы емес сипатын ескермейді және электр энергиясының сапасын ескеретін белгілі әдістер жоғары гармоникадағы параметрлердің таралуын, параметрлердің асимметриясын және іргелі және жоғары гармоника токтарының асимметриясын ескермейді.

3. Көптеген факторларды есепке алатын әуе желілеріндегі электр энергиясының шығындарына есептеу үлгісі [11-12] көрсетілген.

Әдебиеттер тізімі

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Бирюков Р.П. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-280 с.

2. Садовская А. Аспекты снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Энергетика, №4(55) декабрь 2015, С.18-21. <http://kazenergy.kz/arhiv/55/18-21.pdf>

3. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.-448 с.

4. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 29 декабря 2014 года № 177 «Об утверждении Правил формирования и утверждения тарифов (цен, ставок сборов) на регулируемые услуги (товары, работы) субъектов естественных монополий...».

5. Шидловский А.К., Борисов Б.П. Симметрирование однофазных и двухплечевых нагрузок электротехнологических установок. – Киев: Наук. думка, 1977.–160 с.

6. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинин М.А. Программа расчета технических потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях 6 - 10 кВ. - Электрические станции, 1999, №8, с.38-42.

7. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 326 "Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям" (с изменениями от 01.02.2010г.).

8. Справочник по проектированию электрических сетей/под ред. Д.Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2009.–392 с.

9. Жежеленко И.В. Электрические потери от высших гармоник в системах электроснабжения//Электрика.-2010.-№4.С.3-6.

10. Семичевский П.И.. Методика расчета дополнительных потерь активной мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения промышленных предприятий, обусловленные высшими гармониками: дис. ...канд. техн. наук. – М., 1978. – 206 с.

11. T.B. Akimzhanov, N.N. Kharlov, V.S. Borovikov, V.Ya. Ushakov. «Development of calculation methods for additional electrical power losses during transportation», Proceedings of The 9th International Forum on Strategic Technology, Publisher: IEEE.

12. Kharlov, N.N.; Bulyga, L.L. Modelling and identification of load nodes with nonlinear current-voltage characteristics based on measurement data. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University-geo assets engineering. Volume 328, №6, 2017