

## Elektros energijos sąnaudų efektyvumo įvertinimas vandentiekio siurblinėje

**L. Buivis, Z. Turauskas**

*Elektros inžinerijos katedra, Šiaulių universitetas*

*Vilniaus g. 141, LT-5400 Šiauliai, Lietuva, tel. +370 1 595838, faks. +370 1 595832; el. paštas el.katedra@tf.su.lt*

### Įžanga

Pastaraisiais dešimtmečiais pasaulyje stengiamasi didinti energijos vartojimo efektyvumą. Šitaip mažinti energijos poreikį skatina nuolat didėjančios energijos išteklių kainos, didėjantis energijos vartojimas ir šiuolaikiniai aplinkosaugos reikalavimai. Pagrindinis tyrimų tikslas – atskleisti energijos taupymo galimybes nagrinėjamame objekte, šiuo atveju vandentiekyje.

Vienas iš svarbiausių veiksnių, turinčių įtakos energijos vartojimui, yra jos normavimas. Šiuo metu visose vandens tiekimo ir apdorojimo proceso grandyse naudojamas normavimo rodiklis  $\omega$  – elektros energijos sąnaudos  $1 \text{ m}^3$  vandens patiekti į vandentiekio tinklą. Lyginamųjų elektros energijos sąnaudų rodiklis ( $\omega$ ) patogus tuo, kad jis yra labai lengvai nustatomas pagal elektros skaitiklio  $W_e$  ir vandens skaitiklio  $W_Q$  rodmenis. Šis rodiklis apskaičiuojamas imant sunaudotas elektros energijos ir patiekto vandens kiekio santykį per analizuojamą laikotarpį,  $kWh/m^3$ :

$$\omega = W_e / W_Q. \quad (1)$$

Toks rodiklis pradėtas taikyti Lietuvoje apie 1982 metus. Tada jis buvo labai priimtinas, nes atitiko to meto poreikius, be to, jį lengva nustatyti.

Rodiklis  $\omega$  turi ir teigiamų, ir neigiamų savybių.

Teigiamos savybės:

- skatina mažinti slėgį vandens tiekimo tinkle;
- skatina mažinti energijos suvartojimą;
- lengvai nustatomas.

Neigiamos savybės:

- nepakankamai atspindi įrangos techninę būklę ir darbo režimus;
- iš šio rodiklio negalima spręsti apie skirtingomis sąlygomis dirbančių įrenginių darbo efektyvumą;
- jo norminę reikšmę nustatyti keblu ir dažniausiai jis yra nustatomas formaliai, t.y. pagal pasiektą lygį;
- pagal tokį rodiklį negalima vertinti elektros energijos sąnaudų technologinėje įrangoje efektyvumo.

Be to, šį energijos sąnaudų rodiklį reikėtų priskirti prie ekonominių, bet ne prie techninių rodiklių kategorijos.

Technologiniuose procesuose energijos sąnaudos dažniausiai viršija reikalingą minimumą, kuris būtinas pagal termodinamikos dėsnius. Norint nustatyti taupymo galimybes, reikia žinoti mažiausias energijos sąnaudas atliekant darbą, pavyzdžiui, pakeliant vandens masės vienetą į tam tikrą aukštį.

### Teorinė dalis

Siurblio agregato visa naudojamoji galia,  $kW$ :

$$P = \frac{\gamma \cdot g \cdot H \cdot Q}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_a}; \quad (2)$$

čia  $\eta_a = \eta_v \eta_k \eta_s$  – agregato naudingumo koeficientas;  $\eta_v$ ,  $\eta_k$ ,  $\eta_s$  – variklio, keitiklio, siurblio naudingumo koeficientai;  $Q$  – vandens debitas,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $H$  – siurblio sukuriamas slėgis,  $\text{m}$ ;  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;  $\gamma$  – vandens tankis,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Lyginamosios elektros energijos sąnaudos ( $kWh/\text{m}^3$ )  $1 \text{ m}^3$  vandens patiekti, esant elektros energijos ir vandens kiekio skaitikliams arba esant pastoviams vandens debitui  $Q_i$  ir galiai  $P_i$  atskirais laiko intervalais  $T_i$ ,

$$\omega = \frac{W_e}{W_Q} = \frac{\sum_1^n P_i \cdot T_i}{\sum_1^n Q_i \cdot T_i} = \frac{\gamma \cdot g \cdot H_{vid}}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_a}; \quad (3)$$

čia  $H_{vid}$  – vidutinis svorinis slėgis laiko intervale  $T_i$ :

$$H_{vid} = \sum_1^n Q_i \cdot H_i / \sum_1^n Q_i.$$

Elektros energijos sąnaudų efektyvumo vienetu gali būti laikomas vandens kiekis ( $\text{m}^3$ ), kurį įrenginys arba jų grupė pakelia į  $1 \text{ m}$  aukštį, suvartodami elektros energijos vienetą –  $1 \text{ kWh}$ . Elektros energijos sąnaudų efektyvumas,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}/\text{kWh}$ :

$$e = \frac{H_{vid}}{\omega} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\gamma \cdot g} \cdot \eta_a. \quad (4)$$

Arba atvirkščias rodiklis – lyginamosios elektros energijos sąnaudos  $1\text{m}^3$  vandens pakelti į  $1\text{m}$  aukštį,  $\text{kWh}/\text{m}^3 \cdot \text{m}$  :

$$\varepsilon = \frac{\omega}{H_{vid}} = \frac{W_e}{\sum_1^n Q_i \cdot H_i} = \frac{\gamma \cdot g}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta_a}. \quad (5)$$

Irašę į (4) ir (5) formules vandens  $\gamma$  ir  $g$  vertes, gauname:

$$e = 366,97 \cdot \eta_a, \quad (6)$$

$$\varepsilon = 2,725 \cdot 10^{-3} / \eta_a. \quad (7)$$

Šių rodiklių ribinės vertės, tiekiant švarų vandenį, bus  $e_{\max} = 366,97 \text{ m}^3 \cdot \text{m}/\text{kWh}$  – tokį vandens kiekį galima pakelti į  $1\text{m}$  aukštį suvartojant  $1 \text{kWh}$  elektros energijos, arba  $\varepsilon_{\min} = 2,725 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}/\text{m}^3 \cdot \text{m}$  – tiek mažiausiai reikia elektros energijos, norint pakelti į  $1 \text{m}$  aukštį  $1 \text{m}^3$  vandens, kai įrenginio ar įrenginių grupės naudingumo koeficientas ( $\eta_a$ ) lygus vienetui.

Kintant vandens poreikiams, keičiasi vandens debitas, kartu ir siurblio darbo režimas. Keičiantis tam tikrose ribose siurblio darbo režimui gali kisti jo naudingumo koeficientas  $\eta_a$ . Tuomet:

$$\eta_a = f_a(Q, H). \quad (8)$$

Agregato naudingumo koeficientas gali būti nustatomas pagal jo darbo rezultatus. Iš (4) ir (5) lygčių gauname:

$$\begin{aligned} \eta_a &= \frac{\gamma \cdot g}{3,6 \cdot 10^6} \cdot e = \frac{\gamma \cdot g \cdot H_{vid}}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \omega} = \\ &= 2,725 \cdot 10^{-3} \sum_1^n Q_i \cdot H_i / W_e. \end{aligned} \quad (9)$$

Iš (9) lygties matyti, kad, nustatant  $\eta_a$ , be  $W_e$  duomenų, reikia registruoti  $Q_i \cdot H_i$  sandaugą. Šie duomenys gali būti registruojami naudojant kompiuterizuotą informacinę sistemą.

Rodiklis  $\omega$  jau buvo aptartas išangoje. Naudojant rodiklius  $\varepsilon$  ir  $e$ , galima palyginti skirtingomis sąlygomis dirbančių įrenginių energijos sąnaudų efektyvumą, t.y. objektyviai įvertinti, kaip elektros energija yra keičiama į hidraulinę.

Patogesnis naudoti yra rodiklis  $e$ , nes jis tiesiogiai išreiškia energijos vartojimo efektyvumą bet kurioje vandens tiekimo technologinio proceso dalyje arba visame procese.

Naudojant elektros energijos sąnaudų efektyvumo rodiklį labai supaprastėja normavimas, nes, pavyzdžiui, to

paties tipo gręžinių siurbliams, nepriklausomai nuo vandens kėlimo aukščio, šis norminis rodiklis bus toks pat. Jo reikšmei gali turėti įtakos tik didesnis siurblio darbo režimo nukrypimas nuo vardinių parametrų.

Tai galioja ir antrojo kėlimo agregatams. Iš šio rodiklio faktinės vertės galima objektyviai spręsti apie įrenginio susidėvėjimą, apie jo techninę būklę. Kuo daugiau šis rodiklis nutolsta nuo normos arba kuo didesnis jo santykis su  $e_{\max}$ , tuo mažesnis įrenginio efektyvumas. Rodikliai  $\varepsilon$  ir  $e$  taip pat turi ir teigiamų, ir neigiamų savybių.

Teigiamos savybės:

- skatina efektyviau vartoti energiją;
- leidžia palyginti skirtingomis sąlygomis dirbančių įrenginių elektros vartojimo efektyvumą;
- esant kompiuterizuotai informacinei sistemai nesudėtinga nustatyti rodiklių norminę vertę.

Neigiamos savybės:

- reikalingi duomenys apie hidraulinę galią ( $Q \cdot H$ ) arba energiją ( $\sum Q \cdot H$ );
- neskatina mažinti viršslėgių.

Kuriuos iš šių rodiklių naudoti vertinant įmonės personalo darbą, o kuriuos – įrangos techninę būklę, turi spręsti pati įmonė. Pasirinkimas priklauso nuo to, kaip yra pasirengta tiems rodikliams nustatyti. Rekomendacijos, kaip panaudoti šiuos rodiklius, yra paremtos tokiais samprotavimais:

- vandenvietės personalas privalo kontroliuoti pirmojo kėlimo siurblių agregatų techninę būklę (rodikliai  $e$  arba  $\eta$ );
- vandenvietės personalas privalo maksimaliai išnaudoti ekonomiškiausius gręžinius (rodiklis  $\omega$  arba  $\Delta\omega$ );
- vandenvietės personalas privalo kiek įmanoma mažinti slėgio nuostolius (rodiklis  $\omega$  arba  $\Delta\omega$ ).

Kasdieniam darbe reikėtų naudoti rodiklį  $\omega$  arba jo nukrypimą nuo norminės vertės –  $\Delta\omega$ . Periodiškai du kartus per metus patikrinti agregatų techninę būklę, nustatant jų  $e$  arba  $\eta$  ir tuo pagrindu gali būti keičiama energijos sąnaudų norma  $\omega_n$ .

Antrojo kėlimo įrangos darbo režimas ir jos efektyvus darbas priklauso nuo priešslėgio, debito ir įrangos techninės būklės. Energijos sąnaudas ir normas nustatyti yra gana sudėtinga, kadangi vandenvietės personalas negali turėti įtakos siurblio darbo režimui, nes jo darbą nustato automatika arba dispečeriai priklausomai nuo situacijos vandentiekyje. Rekomenduojama iš antrojo kėlimo energijos sąnaudų  $\omega$  didumo spręsti apie dispečerių darbo kokybę, periodiškai tikrinti įrangos  $\eta$  arba  $e$  ir pagal gautus rodiklius vertinti vandenvietės personalo darbą.

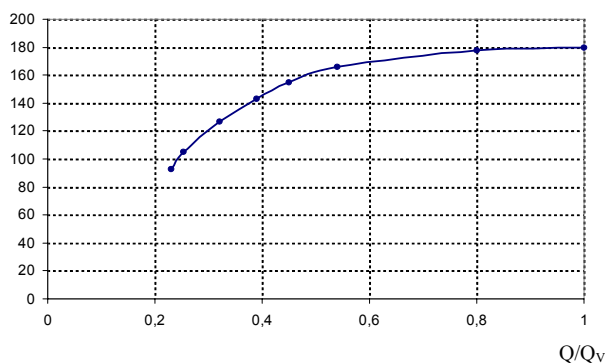
## Eksperimentinė dalis

Atlikta siurblio su dažnine pavara energijos vartojimo efektyvumo analizė. Siurblio vardiniai parametrai: debitas  $Q_v = 300\text{m}^3/\text{h}$ , variklio galia  $P_v = 55 \text{kW}$ , slėgis  $H_v = 45 \text{m}$ , vardinis naudingumo koeficientas  $\eta_a = 0,49$ .

Rodiklio  $e$  priklausomybė nuo apkrovos (debito  $Q$ ) rodo, kad kai siurblio apkrova mažesnė už 50% vardinės

apkrovos, agregato (keitiklio, variklio, siurblio) energijos vartojimo efektyvumas pastebimai mažėja (žr. 1 pav.).

$e$ ,  $m^3 \cdot m/kWh$



**1 pav.** Energijos vartojimo efektyvumo rodiklio  $e$  priklausomybė nuo siurblio apkrovos

Normatyviniai elektros energijos sąnaudų rodikliai gaunami taip:

$$e_n = 366,97 \cdot \eta_a = 366,97 \cdot 0,49 = 180 \text{ m}^3 \text{ m} / \text{kWh},$$

$$\varepsilon_n = 2,725 \cdot 10^{-3} / 0,49 = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} / \text{m}^3 \cdot \text{m}.$$

Tyrimo rezultatai rodo, kad šis siurblys su dažnine pavara, esant mažiems debitams, dirba neefektyviai su dideliais nuostoliais. Šis grafikas leidžia nustatyti priimtinas darbo ribas.

Buvo atlikti vandenviečių gręžinių siurblių agregatų (giluminio siurblio su asinchroniniu varikliu) energijos sąnaudų ir energijos naudojimo efektyvumo tyrimai. Tyrimo ir skaičiavimo pagal (3), (4) ir (9) formules rezultatai pateikti lentelėje.

**Lentelė.** Siurblių agregatų elektros energijos sąnaudų efektyvumo rodikliai

Gręžinio Nr.	$Q_s$ , $m^3/h$	$H$ , $m$	$P$ , $kW$	$\omega$ , $kWh/m^3$	$e$ , $m^3 \cdot m/kWh$	$\eta_a$
3	81	72,2	29,5	0,364	198	0,539
4	90	103,3	37,0	0,411	251	0,683
10	80	81,7	28,2	0,352	232	0,632

Iš lentelės matyti, kad nors 4-ojo gręžinio siurblio agregato lyginamosios energijos sąnaudos  $\omega$  yra didžiausios, tačiau šis agregatas energiją naudoja efektyviausiai, turi didžiausią  $e$ . Didesnes energijos sąnaudas sąlygoja didesnis kėlimo aukštis. Neefektyviausiai energiją naudoja 3-iojo gręžinio agregatas ( $e$  mažiausias), nors pagal rodiklį  $\omega$  energijos sąnaudos panašios kaip ir 10-ojo gręžinio.

Atsižvelgiant į dabartinę vandens tiekimo ūkių padėtį, negalima atmesti ir anksčiau minėto rodiklio  $\omega$ . Tačiau šiuo metu, mažėjant vandens poreikiui, o kartu mažėjant slėgio nuostoliams tinkle, mažėjančios energijos sąnaudos  $1m^3$  vandens patiekti nėra vandens tiekimo įmonių

nuopelnas. Be to, šio rodiklio mažėjimas užmaskuoja technologinių įrenginių darbo blogėjimą dėl nuolat mažėjančių apkrovų ir mažėjančio energijos sąnaudų efektyvumo, t.y. mažėjančių rodiklių  $\omega$  ir  $e$ . Kita vertus, modernizuojant technologinę įrangą ir ypač naudojant siurblių pavaras su dažnio keitikliais, stabilizuojasi slėgis tinkle, mažėja viršslėgiai ir dėl to mažėja rodiklis  $\omega$ , nors dėl nepalankaus darbo režimo sumažėjo darbo efektyvumas. Todėl, mūsų nuomone, vandens tiekimo įmonėse turėtų būti naudojami visi čia pateikti rodikliai, tačiau jų veikimo zonos ir stimulai turi būti parinkti taip, kad jie būtų kuo labiau priartinti prie elektros energijos vartojimui įtakos turinčių tarnybų arba asmenų.

Čia aptarti rodikliai  $\varepsilon$  ir  $e$  gali būti sėkmingai naudojami elektros energijos sąnaudų efektyvumui visuose vandens tiekimo ūkiuose (įmonėse) palyginti, nes tik šie rodikliai objektyviai atspindi skirtingomis sąlygomis dirbančių įmonių technologinių procesų ir įrangos tobulinimą bei prisitaikymą prie kintamų režimų.

Be to, atliekant įmonės elektros vartojimo auditą, rodiklis  $e$  yra patogesnis nei  $\omega$  nustatant elektros taupymo galimybes arba numatomų taupymo priemonių efektyvumą.

## Išvados

1. Pagal lyginamųjų elektros energijos sąnaudų rodiklį  $\omega$  negalima vertinti elektros energijos sąnaudų efektyvumo. Šį rodiklį galima naudoti nustatant ekonomiškiausius gręžinius.
2. Lyginamųjų elektros energijos sąnaudų rodiklis  $\varepsilon$  ir elektros energijos sąnaudų efektyvumo rodiklis  $e$  labiau tinka energijos vartojimo efektyvumui nustatyti.
3. Elektros energijos sąnaudų efektyvumo rodiklio  $e$  analizė rodo, kad, esant mažoms siurblio apkrovos vertėms, energijos sąnaudų efektyvumas gerokai sumažėja.
4. Dažninės pavaros nelabai tinka didelės galios agregatams, kurių apkrovos keičiasi daugiau kaip du kartus.

## Literatūra

1. **Buivis L., Turauskas Z.** Energijos vartojimo efektyvumas vandentiekyje // Energetikos ir elektronikos technologijos: Konferencijos pranešimų medžiaga. – Kaunas: Technologija, 2001. – P. 55,56.
2. **Klevas V.** Energijos tausojimo valstybinės politikos įvadas. - Kaunas, 1998. – 224 p.
3. **Лезнов Б. С.** Экономия электроэнергии в насосных установках.- Москва: Энергоатомиздат, 1991. –144 с.
4. **Тихоненков Б. П., Шаповал А. Ф., Богомолов В. П.** Энергетические характеристики насосных станций. Промышленная энергетика. –Москва, 1998. – № 2. – С.49-53.

Pateikta spaudai 2003 09 16

**L. Buivis, Z. Turauskas. Elektros energijos sąnaudų efektyvumo įvertinimas vandentiekio siurblinėje // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 1(50). – P. 34–37.**

Vandentiekioje naudojama energijos sąnaudų normavimo metodika neleidžia palyginti skirtingomis sąlygomis dirbančių siurblių agregatų, įmonių darbo efektyvumo vartojant elektros energiją. Siūloma kartu su dabar naudojamu lyginamųjų elektros energijos sąnaudų rodikliu naudoti elektros energijos sąnaudų efektyvumo rodiklį, kuris tinka energijos taupymo potencialui nustatyti, skirtingomis kėlimo aukščio sąlygomis dirbančių siurblių agregatų ir įmonių darbo efektyvumui objektyviai įvertinti. Pateiktos matematinės išraiškos šioms rodikliams ir siurblio agregato naudingumo koeficientui nustatyti, apskaičiuotos ribinės rodiklių vertės, taip pat jų panaudojimo vandentiekio įmonėje rekomendacijos. Siūlomiems rodikliams skaičiuoti reikalingi duomenys apie hidraulinę galią arba energiją. Eksperimentinėje dalyje pateikta siurblio su dažnine pavara energijos sąnaudų efektyvumo priklausomybė nuo apkrovos ir grežinių siurblių su asinchroniniais varikliais energijos sąnaudų efektyvumo rodikliai. Iš pateiktų eksperimentinių tyrimų rezultatų matyti, kad, esant panašioms lyginamosioms elektros energijos sąnaudoms, siurblių agregatų energijos naudojimo efektyvumas žymiai skiriasi, o agregatas, turintis didžiausias lyginamąsias elektros sąnaudas, elektros energiją naudoja efektyviausiai. Il. 1, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**L. Buivis, Z. Turauskas. Efficiency of Consuming Electric Power in Water-Supply Pump // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2004. – No. 1(50). – P. 34–37.**

Methods used for calculating proper output rates of energy expenditure in water-supply systems do not include comparison of effectiveness of pumps working under various conditions or efficiency of systems consuming electric power. In addition to index, expressing comparative expenditure of electric power, we suggest the index of effectiveness of expenditure of electric power, which enables the user to determine the potential of saving electric power and evaluate the efficiency of pumps working at different vertical levels as well as efficiency of the whole system. A mathematical expression of this indexes is represented. Data of hydraulic power or energy are needed for calculation of this index. The indexes of effectiveness of expenditure of electric power of pumps with squirrel-cage induction motor drives and pump with induction motor speed control by frequency variation drive are presented in experimental part. The results of experimental tests are presented in this work. Ill. 1, bibl. 4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

**Л. Буйвис, З. Тураускас. Оценка эффективности использования электроэнергии в насосных установках // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 1(50). – С. 34–37**

Существующая методика нормирования электроэнергии в водопроводе не позволяет сравнивать эффективность работы насосных установок и станций, работающих в неодинаковых условиях. При использовании показателя удельного расхода электроэнергии следует применять также показатель эффективности использования электроэнергии, который позволяет оценить потенциал электросбережения, объективно оценить эффективность использования электроэнергии в насосных установках, работающих в неодинаковых условиях напора. Приведены математические выражения для расчета этих показателей рассчитаны граничные величины показателей и рекомендации по их применению в насосных станциях. Приведены данные эксперимента, по которым определены показатели эффективности использования электроэнергии в насосных установках с асинхронными электродвигателями и с регулируемым электроприводом, дана оценка по результатам эксперимента. Ил. 1, библи. 4 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10985