

NOTEKŪDEŅU AERĀCIJAS IEKĀRTU ELEKTRISKĀS PIEDZIŅAS ENERGOEKONOMIKA ENERGOECONOMICS OF ELECTRICAL DRIVES FOR WASTE WATER AERATION UNITS

Andris Šnīders, Dr.h.inž., profesors
LLU TF Lauksaimniecības enerģētikas institūts
J.Čakstes bulv. 5, Jelgava LV-3001
tel.: 3022242, 3080687
e-pasts: sniders@cs.llu.lv
fax: 3027238

Abstract. This article discusses essential aspects of Induction motor's (IM) selection for reconstruction projects of waste water purification plants as well eventual saving of electric power in waste water pneumatic aeration units by using regurable electrical drives. Experience has proven that it is almost always cost effective to raplace old unefficient motor with new energy efficient and reliable unit. Anyway economical calculations must be perform. The paper considers methods and results of economic effect calculation from energy savings in three phase IM dependent on their efficiency, power factor, operation time and reliability. The higher the motor's energetic indices, the higher the effect from electrical energy saving and the lower the payment time of additional charges.

Most electric power is consumed during waste water pneumatic aeration because it is an uninterrupted process. Analysis of the biological oxygen need for communal waste water purification prove that the medium required air blower's productivity is 50-60% of maximum value. Therefore the regulation of air blowers by using frequency converter is vitally important for energy saving and profitability of communal waste water biological purification plants. Calculations show that use of reguable air blower with frequency converter is profitable for medium and large scale purification plants. The payment time of the additional charges for frequency converter and automation are about 2 years and lower if the rated power of air blower's electrical drive is 15 kW and higher, but medium energy saving exceeds 30% in comparison with rated value.

1. Ievads

Enerģijas ekonomija ir pasaules mēroga aktuāla problēma, kuras risināšanai tiek pievērsta pastiprināta uzmanība. Īpaši tas attiecas uz nepārtrauktiem, energoietilpīgiem procesiem, kuru optimizācija dod ievērojamu enerģijas ekonomijas efektu. Enerģijas racionālai izmantošanai ir arī ekoloģiska nozīme, jo iekārtai ar mazāku enerģijas patēriņu ir augstāks ekoloģiskās atbilstības indekss. Viens no šādiem energoietilpīgiem un ekoloģiski nozīmīgiem procesiem ir notekūdeņu attīrīšana.

Pieteiktā problemātika Latvijai ir aktuāla saistībā ar lieliem notekūdeņu attīrīšanas ietaišu rekonstrukcijas projektiem, kuros kapitālieguldījumu ievērojamu daļu sastāda tehnoloģiskās iekārtas ar elektrisko piedziņu. Īpašs statuss ir notekūdeņu aerācijas iekārtām, kas nodrošina attīrīšanas procesa nepārtrauktību un ir lielākais elektroenerģijas patērētājs. Tādēļ aerācijas iekārtu elektriskās piedziņas izvēle rekonstrukcijas procesā un tās optimāla regulēšana ir ne tikai tehnisks, bet arī ekonomisks jautājums.

Pētījumi parāda, ka ilgstošas un nepārtrauktas darbības tehnoloģisko iekārtu piedziņai jāizvēlas asinhronie elektrodzinēji (AD) ar augstu energoefektivitāti un ekspluatācijas drošumu [1]. Veicot rekonstrukciju, vecie vai bojātie elektrodzinēji jānomaina ar jauniem drošiem un energoefektīviem. Remontētu elektrodzinēju atkārtota

uzstādīšana nepārtrauktas darbības iekārtās neatmaksājas sakarā ar pazeminātu lietderības koeficientu un ierobežotu resursu. Šādi elektrodzinēji tērē vairāk elektroenerģijas un paātrināti iziet no ierindas, kas rada papildus ekspluatācijas izdevumus un tiešus zaudējumus.

Būtiski svarīgs faktors, kas nosaka AD darbības efektivitāti ir lietderības koeficients [2,3]. Tā maksimālo vērtību iegūst, ja elektrodzinēju darbina ar nominālu slodzi pie nomināla barošanas sprieguma un frekvences. Šādā režīmā darbojas elektrodzinēji neregulējamās notekūdeņu aerācijas iekārtās. Veicot šo iekārtu rekonstrukciju, jānomaina mazāk efektīvie turbokompresori ar Rūtsa divrotoru gaisa pūtējiem, bet perforēto cauruļu aeratoru vietā jāuzstāda membrānas tipa gaisa difuzori. Parasti tas dod iespēju samazināt elektropiedziņas uzstādīto jaudu 2 līdz 2,5 reizes.

Neracionāli un neekonomiski ir uzstādīt modernam gaisa pūtējam ilgstoši lietotu, remontētu vai arī jaunu, bet vecas sērijas elektrodzinēju ar zemiem enerģētiskajiem un drošuma rādītājiem. Kaut arī šādi elektrodzinēji ir 1,5 līdz 2 reizes lētāki nekā moderni firmu ABB un Siemens elektrodzinēji, to izmantošana ilgstošā, nepārtrauktā procesā ekonomiski neattiecas.

Neregulējamie gaisa pūtēji darbojas ar nominālo ražīgumu neatkarīgi no bioloģiskā skābekļa patēriņa (BSP) notekūdeņu attīrīšanas procesā. Tas bieži rada nevajadzīgu elektroenerģijas pārtēriņu pie samazinātas aerotenka slodzes. Kā liecina BSP sadalījuma histogramma komunālajiem notekūdeņiem [4], vidējā gaisa skābekļa vajadzība nepārsniedz 60% no nominālās vērtības, kas aprēķināta lielākajai attīrīšanas slodzei. Tā kā Rūtsa gaisa pūtēju elektropiedziņas patērētā jauda ir aptuveni proporcionāla ražīgumam, tad, nepārtraukti regulējot gaisa padeves daudzumu atbilstoši mainīgajam skābekļa patēriņam, iegūst ievērojamu elektroenerģijas ietaupījumu [5].

Rakstā izklāstīta metodika un piemēri elektroenerģijas ekonomijas iespēju novērtēšanai notekūdeņu aerācijas iekārtās ar neregulējamu un regulējamu elektropiedziņu. Aprēķinu metodika dos korektu rezultātu pie nosacījuma, ka aerācijas iekārtu elektrodzinēji ir apgādāti ar kvalitatīvu, pareizi izvēlētu un iestatītu aizsardzību pret iespējamām nejausiem avārijas – pārslodzes režīmiem.

2. Neregulējamo aerācijas iekārtu energoekonomika

Neregulējamās elektriskās piedziņas enerģijas patēriņa ekonomiku nosaka enerģētiskie faktori (lietderības koeficients, aktīvā jauda, reaktīvā jauda, elektroenerģijas tarifs) un ekspluatācijas parametri (izmantošanas koeficients, slodzes koeficients, ekspluatācijas drošums). Izmantojot divu vienādas jaudas elektrodzinēju tehniskos datus un ekspluatācijas nosacījumus iegūta sakarība elektroenerģijas ietaupījuma efekta dinamikas novērtēšanai (L_s) pēc aerācijas iekārtas rekonstrukcijas, nomainot tajā bāzes elektrodzinēju ar efektīvāku elektrodzinēju.

$$E(t) = \frac{P_m \varepsilon \cdot t \left[(\eta_{ef} - \eta_b) k_a + (\eta_{ef} \operatorname{tg} \varphi_b - \eta_b \operatorname{tg} \varphi_{ef}) k_r \right]}{\eta_{ef} \cdot \eta_b}, \quad (1)$$

kur P_m – salīdzināmo elektrodzinēju mehāniskā jauda, kW;

η_b, η_{ef} – salīdzināmo elektrodzinēju lietderības koeficienti;

$\varepsilon = \Sigma t_d / t$ – elektrodzinēju izmantošanas koeficients;

(Σt_d – summārais darba laiks apskatāmajā periodā t, h);

k_a – aktīvās enerģijas tarifa likme, Ls/kWh;

k_r – reaktīvās enerģijas tarifa likme, Ls/kVArh;

$\operatorname{tg} \varphi_b, \operatorname{tg} \varphi_{ef}$ – salīdzināmo elektrodzinēju reaktīvās un aktīvās jaudas attiecības

($\operatorname{tg} \varphi_b = Q_b / P_b, \operatorname{tg} \varphi_{ef} = Q_{ef} / P_{ef}$).

Elektroenerģijas ietaupījuma efektu galvenokārt iespaido lietderības koeficientu starpība ($\eta_{ef} - \eta_b$). Lielumu $tg\varphi_b$ un $tg\varphi_{ef}$ iespaids ir ievērojami mazāks, jo $k_r \approx 0,1k_a$. Lai veiktu vispārēju analīzi, pieņemam, ka salīdzināmie elektrodzinēji darbojas nepārtraukti ($\epsilon = 1$) ar nominālu vienmērīgu slodzi ($P_m = P_{nom}$), kas atbilst gaisa pūtēju darbības režīmam. Apskatāmajā periodā tie darbojas bez atteices un $tg\varphi_b = tg\varphi_{ef} = tg\varphi$. Tad gada laikā iegūtais efekts ir

$$E_g = \frac{P_{nom} t_g (\eta_{ef} - \eta_b) (k_a + tg\varphi \cdot k_r)}{\eta_{ef} \cdot \eta_b}, \quad (2)$$

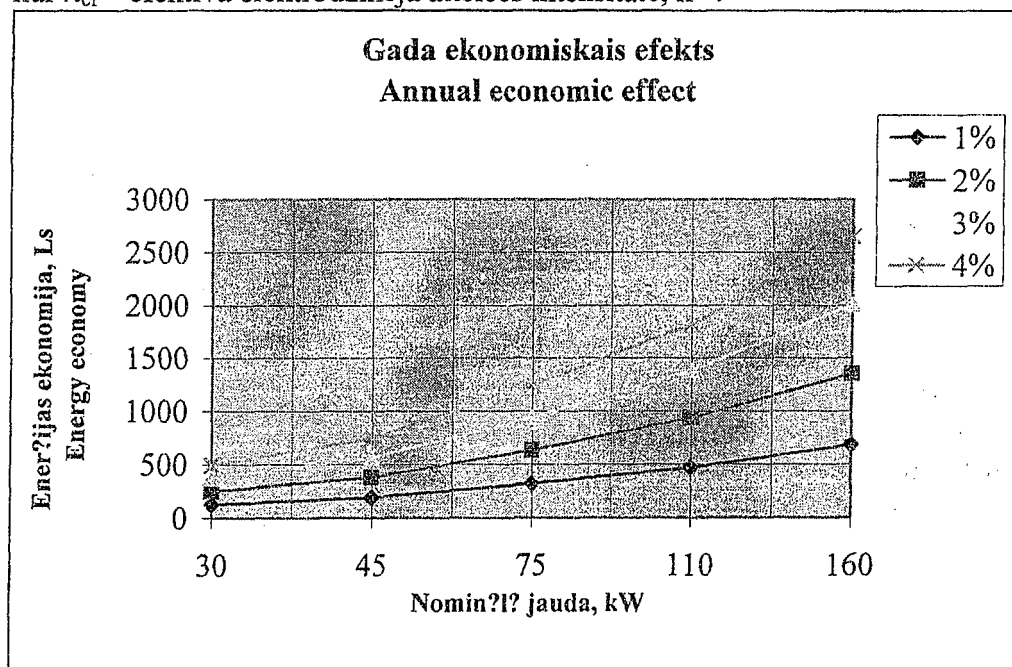
kur $t_g = 8760h$ – stundu skaits gadā.

Ja kopējā atļautā slodze ir 100 kW un vairāk, bet $tg\varphi > 0,4$ ($\cos\varphi < 0,929$) elektroenerģijas apmaksai izmanto T5 tarifu, kur $k_a = 0,0347$ Ls/kWh un $k_r = 0,0035$ Ls/kVarh. Ievietojot izteiksmē (2) $\eta_b = 0,9$, $tg\varphi = 0,48$ ($\cos\varphi = 0,9$), iegūstam raksturlienes (1.att.), kas parāda elektroenerģijas ietaupījuma gada efektu atkarībā no AD nominālās jaudas un lietderības koeficienta relatīvā pieauguma $\gamma = (\eta_{ef} - \eta_b) / \eta_b$, izteikta procentos.

Neviens elektrodzinējs nav absolūti drošs. Tādēļ, prognozējot gada efektu un papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiku, jāņem vērā iespējamās elektrodzinēja atteices. Pieņemot, ka elektrodzinēja atteices normālas darbības periodā ir nejauši, neatkarīgi notikumi, kurus izraisa nevis tā nolietošānās, bet gan elektriskā tīkla un vides iedarbība, atteižu varbūtību var aprakstīt ar eksponenciālo sadalījuma likumu: $R(t) = \exp(-\lambda t)$, kur λ – elektrodzinēja atteices intensitāte; $R(t)$ – bezatteices darbības varbūtība [5]. Lai aprēķinātu papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiku T_a (gadi), kam jābūt mazākam par normatīvo laiku T_n (elektrotehniskajām iekārtām – 5 gadi), jānosaka elektrodzinēja ekvivalentā darbības varbūtība periodā T_n [5]. Tad elektroenerģijas ietaupījuma gada vidējo efektu var noteikt pēc formulas:

$$E_v = \frac{E_g [1 - \exp(-\lambda_{ef} \cdot T_n)]}{\lambda_{ef} \cdot T_n}, \quad (3)$$

kur λ_{ef} – efektīvā elektrodzinēja atteices intensitāte, h^{-1} .



1.att. Neregulējama elektrodzinēja ietaupītās elektroenerģijas gada efekts nepārtrauktas darbības režīmā atkarībā no nominālās jaudas un lietderības koeficienta pieauguma

Papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiks

$$T_a = \frac{C_{ef} - C_b}{E_v}, \quad (4)$$

kur C_{ef} – efektīvā elektrodzinēja cena, Ls;

C_b – bāzes elektrodzinēja cena, Ls.

Noteiksim prognozējamo cenu starpības atmaksāšanās laiku uz ietaupītās elektroenerģijas rēķina, aizstājot 4A sērijas elektrodzinēju ($P_{nom} = 75$ kW, $\eta_b = 0,915$; $\cos\varphi_b = 0,9$, $C_b = 1500$ Ls) ar “Siemens” elektrodzinēju ($P_{nom} = 75$ kW, $\eta_{ef} = 0,94$, $\cos\varphi_{ef} = 0,9$, $C_{ef} = 2450$ Ls, $\lambda_{ef} = 3,5 \cdot 10^{-6} / \lambda^{-1}$), ja tie darbojas nepārtraukti ar nominālo jaudu

$$T_a = \frac{2450 - 1500}{633} \approx 1,5 \text{ gadi},$$

kur vidējais gada ietaupījums – 633 Ls.

3. Regulējamās elektropiedziņas ieviešanas pamatojums

Sastādot neregulējamās un regulējamās elektropiedziņas aktīvās un reaktīvās jaudas bilances vienādojumus, iegūta sakarība elektroenerģijas ietaupījuma efekta aprēķināšanai, regulējot patērēto jaudu

$$E(t) = \frac{P_{nom} (k_a + tg\varphi_{nom} k_r)}{\eta_{nom}} \left[1 - \frac{P_r \cdot \eta_{nom} \left(1 + tg\varphi_r \frac{k_r}{k_a} \right)}{P_{nom} \cdot \eta_r \cdot \eta_f \left(1 + tg\varphi_{nom} \frac{k_r}{k_a} \right)} \right], \quad (5)$$

kur P_r – regulējamās jaudas vidējā vērtība, kW;

η_r – regulējamās elektropiedziņas vidējais l.k.;

η_f – frekvenču pārveidotāja vidējais l.k.;

$tg\varphi_r$ – regulējamās reaktīvās un aktīvās jaudas attiecība;

$tg\varphi_{nom}$ – neregulējamās reaktīvās un aktīvās jaudas attiecība.

Samazinot elektrodzinēja jaudu, $tg\varphi_r$ palielinās, tādēļ $tg\varphi_r > tg\varphi_{nom}$, bet lietderības koeficients samazinās ($\eta_r < \eta_{nom}$). Vispārīgi η_r var izteikt šādi: $\eta_r = \delta_r \cdot \eta_{nom}$, kur $\delta_r = f(P_r) < 1$ ir korekcijas koeficients pēc elektrodzinēja jaudas.

Frekvenču pārveidotāja lietderības koeficients η_f mainās atkarībā no regulējamā sprieguma frekvences. Ja $f_r = f_{nom}$, tad $\eta_f = 0,96 - 0,97$. Samazinot frekvenci līdz $f_r = 0,5 f_{nom}$, η_f samazinās līdz 0,91 [6].

Firmā “Flygt” veikta frekvenču pārveidotāju radīto papildus zudumu modelēšana elektrodzinējos, kas deva iespēju reducēt šos zudumus pie frekvenču pārveidotāja un ietvert kopējā lietderības koeficientā, pārnesot korekcijas koeficientu δ_r pie η_f : $\eta_{fs} = \delta_r \cdot \eta_f$. Izmantojot modelēšanas rezultātus, kas doti raksturlīkņu veidā [6], kā arī ņemot vērā to, ka Rūtsa gaisa pūtēju elektropiedziņas jauda P_r tiek regulēta proporcionāli frekvencei f_r , iegūta empīriskā sakarība η_{fs} aprēķināšanai

$$\eta_{fs} = 0,71 + 0,25 \frac{P_r}{P_{nom}} \quad (6)$$

Gada efekta aprēķināšanai vienkāršojam izteiksmi (5). Problēmas rada $\text{tg}\varphi_r$ noteikšana, jo tas mainās atkarībā no regulējamās jaudas un frekvences. Izteiksmes kvadrātiekvāns analīze parāda, ka robežās $\text{tg}\varphi_{\text{nom}} < \text{tg}\varphi_r < 2\text{tg}\varphi_{\text{nom}}$ aprēķina kļūda, atmetot locekļus $\text{tg}\varphi_r$ un $\text{tg}\varphi_{\text{nom}}$, nepārsniedz 5%, kas ir pieļaujami. Tad izdarot attiecīgus pārveidojumus un vienkāršojumus izteiksmē (5), iegūstam sakarību gada efekta aprēķināšanai

$$E_g = \frac{P_{\text{nom}} \text{tg}(k_a + \text{tg}\varphi_{\text{nom}} \cdot k_r)}{\eta_{\text{nom}}} \left[1 - \frac{P_r}{P_{\text{nom}} (0,71 + 0,25P_r / P_{\text{nom}})} \right] \quad (7)$$

Nosakām prognozējamo papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiku

$$T_a = \frac{C_f + C_a}{E_g} \quad (8)$$

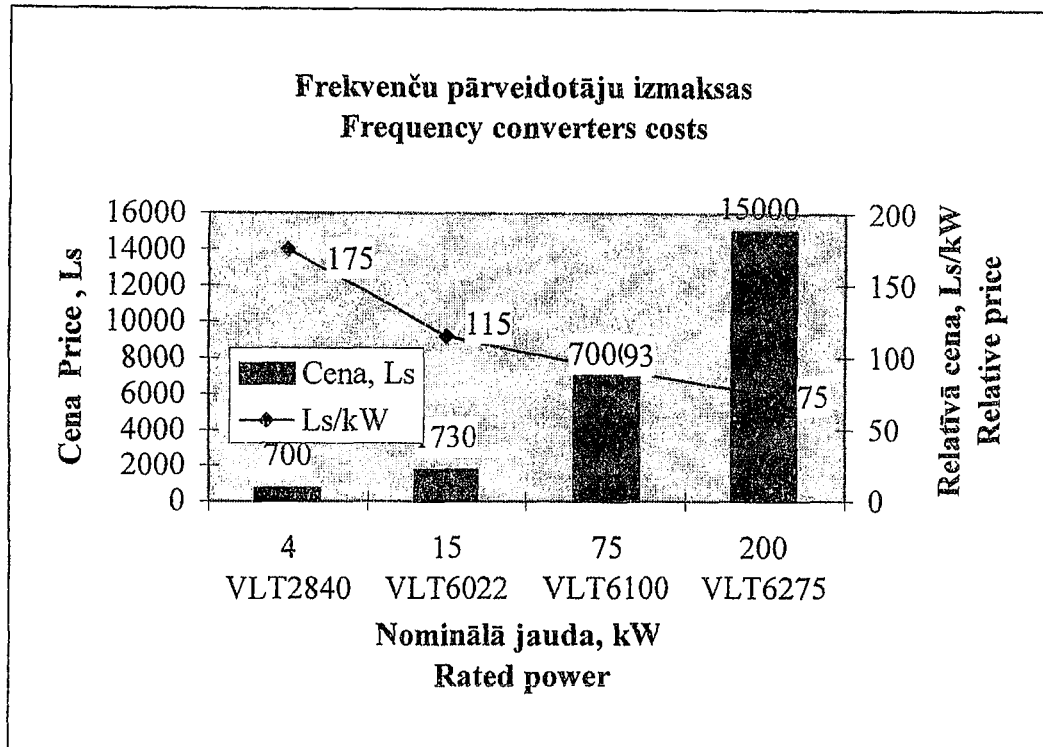
kur C_a – automātikas cena, Ls;

C_f – frekvenču pārveidotāja cena, Ls.

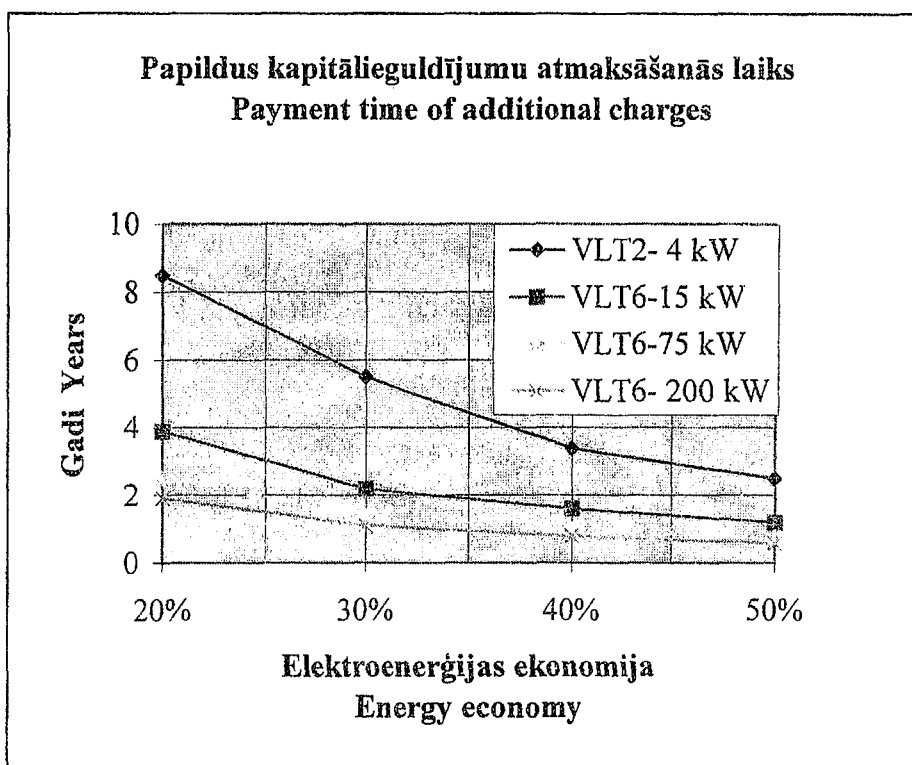
Pārējie izdevumi, kas procentuāli sastāda nelielu daļu no galvenajām izmaksām netiek ņemti vērā. Automātikas cenu C_a sastāda izšķīdušā skābekļa koncentrācijas mēriekārta "Evita", kas formē vadības signālu uz frekvenču pārveidotāju. Atkarībā no modifikācijas $C_a = (500 - 1000)$ Ls. Aprēķiniem izvēlamies vidējo vērtību $C_a = 750$ Ls. Frekvenču pārveidotāju cenas ir atkarīgas no jaudas, pie kam, palielinoties pārveidotāju jaudai, relatīvā cena (Ls/kW) samazinās (2.att.).

Izmantojot firmas "ABB" elektrodzinēju kataloga datus un sakarības (7, 8) iegūta papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laika atkarība no prognozējamā elektroenerģijas ietaupījuma dažādas jaudas iekārtām. Jo lielāka ir aerācijas iekārtas nominālā jauda, jo lielāku efektu iegūst no elektroenerģijas ietaupījuma un jo mazāks ir papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiks (3.att.).

Mazjaudīgām aerācijas iekārtām (4kW) frekvenču pārveidotāja uzstādīšana atmaksājas tikai tad, ja prognozējamais elektroenerģijas ietaupījums ir lielāks par 40%. Vidējas un lielas jaudas iekārtām pie 30% elektroenerģijas ietaupījuma papildus kapitālieguldījumu atmaksāšanās laiks samazinās no 2,2 gadiem (15 kW piedziņai) līdz 1,4 gadiem (75 kW piedziņai). Dotajos aprēķinos nav ņemtas vērā iespējamās elektrodzinēja, automātikas un frekvenču pārveidotāja atteices, kas prognozējamo efektu var samazināt par (10–15)%.



2.att. Dažādas jaudas frekvenču pārveidotāju VLT vidējās absolūtās un relatīvās cenas



3.att. Dažādas jaudas regulējama aerācijas iekārtu frekvenču pārveidotāju un automātikas atmaksāšanās laiks atkarībā no elektroenerģijas ietaupījuma prognozes

Secinājumi

Būtiski faktori, kas nosaka neregulējamo notekūdeņu aerācijas iekārtu energoefektivitāti ir elektropiedziņas lietderības koeficients un ekspluatācijas drošums. Rekonstrukcijas procesā veci, mazefektīvi un nedroši elektrodzinēji jānomaina ar augstas efektivitātes drošiem elektrodzinējiem..

Aerācijas iekārtu regulējamās elektropiedziņas ar frekvenču pārveidotājiem un skābekļa koncentrācijas automātisku regulēšanu ieviešana ekonomiski attaisnojas vidējas un lielas jaudas attīrīšanas ietaisēs. Mazas jaudas iekārtām efektīvāka ir pakāpjveida regulēšana, izmantojot divus gaisa pūtējus, no kuriem viens darbojas patstāvīgi, bet otrs periodiski ieslēdzas un izslēdzas atkarībā no skābekļa koncentrācijas aerotenkā.

Literatūra

1. Hiatt B. Energy efficiency in electric motors. Energy Engineering, Vol. 87, N° 4, 1990. pp.36–42.
2. Snell L. Specifying efficient motors for retrofit projects. Energy Engineering, Vol.87, N° 4. pp. 23–29.
3. Šnīders A. Elektrodzinēju lietderības koeficients kā ekonomiskās efektivitātes faktors//LLU Raksti/ Latv.Lauks.Univers., Jelgava Nr. 16(293), 1998. 107–109 lpp.
4. Šnīders A. The Expenditure of Electrical Energy for Communal sewage purification. Baltic Electrical Engineering review, Vilnius, N° 2(6), 1997. pp.29–32.
5. Шнидерс А. Экономия электроэнергии в электроприводах непрерывного действия// Энергосбережение в сельском хозяйстве/ Труды 2-ой Международной научно-технич. конференции, 03.-05.10. 2000. Москва - ВИЭСХ, с.276–283.
6. Carlson A. Energy comparison VFD vs. on-off controled pumping stations. Impeller/ A news magazine from ITT Flygt, N° 48, 1998. pp.29–33.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА И ПРОБЛЕМЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА GEOLOGISKĀ VIDE UN KODOLENERĢĒTIKAS CIKLA OBJEKTU EKOLOGISKĀS DROŠĪBAS PROBLĒMAS

Татаринов В.Н.

Геофизический центр Российской Академии Наук
117296, Россия, Москва, Молодежная ул., д. 3. Тел: (095) 9305639

Abstract. A discussion is presented of the methodological approach to assessment of stability of geologic environment in regions where nuclear cycle objects are located. A basis of assessment is the registration of dynamics of variation of the various factors and exterior energy in a hierarchical block of geologic environment.

Широко используемое настоящее время в науках о Земле понятие "геологическая среда" по-разному трактуется у различных авторов в зависимости от направлений их исследований. Не имея возможности остановиться на анализе всех, выделим в них главные черты. В методологическом аспекте эта категория может рассматриваться с двух сторон. Первая базируется на том, что геологическая среда это сложный объект природы, объективно существующий независимо от человека и его деятельности (Голодковская Г.А., Котлов В.Ф., Трофимов В.Т., Шаумян Л.В. и др.). Ломтадзе В.Д. [1] дает такую трактовку этому термину "Каждая территория на Земле с ее рельефом, процессами и явлениями