

---

## **ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ТОКОИЗПРАВИТЕЛНИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЛОКОМОТИВИ**

**Л. Българанов\*, Т.Йонов\*\***

[lbalg@vmei.acad.bg](mailto:lbalg@vmei.acad.bg), [tjonov@vmei.acad.bg](mailto:tjonov@vmei.acad.bg)

*ТУ – София, катедра ЕСЕОЕТ, ЕФ  
България*

***Ключови думи:** електрообзавеждане, охлаждане, разход, енергия, оптимално управление, напрежение, двигател-вентилатор.*

***Резюме:** В работата е изведен алгоритъм за управление на напрежението на двигател-вентилаторите в токоизправителни локомотиви, при който разходът на електрическа енергия за охлаждане на елктрообзавеждането е минимален и зависи от режима на работа, като не се допуска прегряване на електрообзавеждането над допустимото.*

### **I. Въведение**

Известно е, че токоизправителните локомотиви имат по-нисък коефициент на полезно действие от постояннотоковите. Основната причина за това е повишения разход на енергия за собствени нужди. Един от най-големите консуматори на такава енергия са **двигател-вентилаторите [Д-В]**.

В токоизправителните локомотиви Шкода, които се експлоатират у нас, не е предвидено регулиране на дебита на охлаждащия въздух (освен сезонно) в зависимост от режима на работа на локомотива т.е. Д-В работят непрекъснато с постоянен дебит. Това осигурява облекчен топлинен режим на работа на силовото електрообзавеждане - тягови двигатели, силови токоизправители и изглаждащи реактори, но същевременно води до повишен разход на енергия за собствени нужди, а от там и по нисък среден коефициент на полезно действие на локомотива.

Целта на настоящата работа е да се намери алгоритъм за оптимално управление на напрежението на двигател-вентилаторите, при който разходът на енергия за охлаждане на електрообзавеждането е минимален, зависи от режимите на работа на локомотива и не се допуска прегряване на тяговите машини и апарати над допустимото, съгласно техния клас на изолация.

## II. Особенности при топлинни изследвания на тягови двигатели и постановка на задачата

Поради сложността на топлинните процеси в тяговите двигатели [ТД] тяхното нагряване и охлаждане се определя по приблизителни методи, като се правят следните допускания [1]:

1. Счита се, че двигателят се състои от ограничен брой части(елементи);
2. Теплопроводността на металните елементи се приема равна на безкрайност, а самите те за еднородни тела;
3. Температурата в тези елементи се установява мигновено и се разпределя по целия обем равномерно, като големината и зависи само от топлинния капацитет на металите;
4. Теплоотдаването от повърхността на металните части се приема по закона на Нютон, пропорционално на температурата на прегряване;
5. Счита се, че топлинния капацитет е постоянен;
6. Работи се със средното превишение на температурата на охлаждащия въздух;
7. Разглежда се най-опасната по отношение на нагряване намотка на ТД, като тя се приема за еднородно твърдо тяло с приведени - топлинен капацитет  $C_p$ , коефициент на теплоотдаване  $B_p$  и загуби на мощност  $\Delta P_p$ ;

За ТД в електрическите локомотиви "Шкода" най-нагрятата е намотката на допълнителните полюси [2].

За времето  $dt$  в намотката се отделя определено количество топлина, равна на  $\Delta P_p \cdot dt$ . Част от тази топлина предизвиква повишаване на температурата на намотката с  $d\tau$ , а останалата се отделя от повърхността ѝ в околната среда. Като се вземат предвид тези съставлящи и приетите допускания, се получава следното уравнение за баланса на топлинната енергия в разглежданата намотка

$$(2.1) \quad \Delta P_p \cdot dt = C_p \cdot d\tau + B_p \cdot dt$$

Приведените загуби на мощност  $\Delta P_p$ , на които влияе зависимостта на съпротивлението на намотката от температурата, с приемлива точност могат да се представят по следния начин

$$(2.2) \quad \Delta P_p = r_0 \cdot (1 + \alpha_0 \cdot \Delta\tau) \cdot I^2 + k_c \cdot \Delta P_c$$

където:  $r_0$  е съпротивлението на допълнителните полюси при температура на околната среда;

$\alpha_0$  - температурният коефициент на съпротивлението на намотката при температура на околната среда;

$\Delta P_c$  - магнитните загуби в стоманата;

$k_c$  - коефициентът, зависещ от конструкцията на ТД и натоварването му,  $k_c < 1$ .

Ако (2.2) се замести в (2.1) и се обозначи  $\Delta P_e = r_0 \cdot I^2 + k_c \cdot \Delta P_c$ ;  $B_e = B_p - r_0 \cdot \alpha_0 \cdot I^2$  и  $T_e = C_p / B_e$  се получава следното уравнение

$$(2.3) \quad (\Delta P_e / B_e) \cdot dt = T_e \cdot d\tau + \tau \cdot dt$$

Величините отбелязани с индекс "е" се наричат еквивалентни.

Решението на диференциалното уравнение за баланса на топлинната енергия има вида

$$(2.4) \quad \tau = \tau_{\infty} \cdot [1 - \text{EXP}(-t / T_e)] + \tau_0 \cdot \text{EXP}(-t / T_e)$$

където:  $\tau_{\infty}$  - установената температура на прегряване, след време  $t = \infty$ ;  
 $\tau_0$  - температурата на прегряване при  $t = 0$ .

Установената температура на прегряване се определя от следната зависимост

$$(2.5) \quad \tau_{\infty} = (\Delta P_e / B_e) = (I^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_c) / (B_p - I^2 \cdot r_0 \cdot \alpha_0)$$

Приведеният коефициент на топлоотдаване  $B_p$  в (2.5), за ТД с принудителна вентилация, съгласно [3] се определя от зависимостта

$$(2.6) \quad B_p = S \cdot \alpha \cdot (1 + k_v \cdot \sqrt{v_v})$$

където:  $k_v, \beta$  са коефициентите, които отчитат ефективността на охлаждането, като  $k_v = f(\beta)$ ;

$\alpha$  - специфичният коефициент на топлоотдаване;

$v_v$  - скоростта на охлаждащия въздух в ТД;

$S$  - охлаждащата площ на допълнителните полюси.

Скоростта на охлаждащия въздух в двигателя се определя от зависимостта

$$(2.7) \quad v_v = Q_H \cdot n / S \cdot n_H$$

където:  $n_H$  - номиналната честота на въртене на двигател-вентилатора;

$n$  - честотата на въртене;

$Q_H$  - номиналният дебит на охлаждащия въздух

В установен режим на работа двигателният и съпротивителният моменти са равни  $M_g = M_c$  т.е.

$$(2.8) \quad M_g = c_v \cdot \Phi_v \cdot I_v = c_v \cdot k \cdot I_v^2 = M_c = k_m \cdot n^2$$

където:  $k$  е коефициентът на пропорционалност между тока и магнитния поток на Д-В в линейната част на магнитната характеристика;

$I_v$  - котвеният ток на Д-В.

От (2.7) се определя честотата на въртене на Д-В и като се вземе предвид

(2.6) се получава

$$(2.9) \quad B_e = S \cdot \alpha \cdot \left( 1 + \frac{k_v \cdot Q_H}{S \cdot n_H} \cdot I_v \cdot \sqrt{\frac{c_v \cdot k}{k_m}} \right) - I^2 \cdot \alpha_o \cdot r_o$$

Задачата за оптимално по разход на електрическа енергия управление на Д-В в електрически локомотиви, може да се формулира по следния начин: Търси се закон за управление на напрежението на Д-В т.е.  $U(t)$ , с който се минимизира консумираната за вентилация електрическа енергия, без да се допуска прегряване на тяговото електро-обзавеждане над допустимото. Тази енергия се определя с интеграла

$$(2.10) \quad E = \int_0^t U \cdot I_v \cdot dt$$

при следните ограничаващи условия:

$$(2.11) \quad | 0 \leq \tau \leq \tau_d; 0 \leq U \leq U_H; 0 \leq I \leq I_{\max} = I_s$$

където:  $\tau_d$  е допустимата температура на прегряване на ТД;  
 $\tau$  - текущата стойност на прегряването на ТД;  
 $U$  - текущата стойност на напрежението на Д-В;  
 $U_H$  - номиналното напрежение на двигател-вентилатора;  
 $I_s$  - пусковият ток на ТД.

Ако в (2.4) се замести (2.5) и се отчете, че  $T_e = C_p / V_e$  се получава

$$(2.12) \quad \tau = \frac{\Delta P_e}{B_e} [1 - \text{EXP}(-B_e \cdot t / C_e)] + \tau_0 \cdot \text{EXP}(-B_e \cdot t / C_p)$$

Еквивалентният коефициент на топлоотдаване  $V_e$  се появява и в числителя и в знаменателя на (2.12). При това положение решението на оптимизационна задача е невъзможно, поради едновременното нарастване на числителя и знаменателя. За да стане решима поставената задача, трябва да се направят някои допускания и опростявания:

1. Като стъпка за решаване на задачата се избира интервал от време значително по-малък от времеконстантата на ТД, която е по-голяма от 20 минути. При това допускане се приема, че котвеният ток и загубите в сто-маната на ТД са постоянни в разглеждания интервал [1]. При интервал от няколко секунди до една минута се изпълнява условието  $t / T_e \ll 0,1$ . Ако функцията  $\text{EXP}(-t / T_e)$  се разложи в ред на Маклорен и се вземат само първите два члена т.е.  $\text{EXP}(-t / T_e) = 1 - t / T_e$ , за изчисляване на прегряването се получава следната опростена зависимост [1, 4]

$$(2.13) \quad \tau = (\tau_\infty / V_e - \tau_0) t / T_e + \tau_0$$

Следователно, прегряването може да се представи като линейна функция на времето

$$(2.14) \quad \tau_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot t$$

където:  $a_{0j}$  - началната стойност на прегряването в  $j$ -ия интервал;  
 $a_{ij}$  - ъгловият коефициент в  $j$ -ия интервал;  
 $m$  - броят на интервалите от време.

Коефициентът  $a_{0j}$  е по-голям или равен на нула, а  $a_j$  може да приема положителни (двигателят се нагрива), отрицателни (двигателят се охлажда) или нулеви (установено прегряване) стойности. За избрания интервал се работи със средната стойност на тяговия ток в него т.е.  $I_j = \bar{I}_j = \text{const}$ .

$$(2.15) \quad \Delta P_{ej} = \bar{I}_j^2(t) \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_{ej} = \text{const}$$

2. След първите един, два пускови процеса прегряването на ТД достига установена стойност [1]. Като се вземат предвид дадените по-горе допускания, за избрания интервал, може да се приеме, че трайната и текущата стойност на прегряването са равни. Тогава от зависимости (2.5), (2.9), (2.14) и (2.15) за прегряването в  $j$ -ия интервал се получава

$$(2.16) \quad \tau_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot t = \frac{\Delta P_{ej}}{B_{ej}} = \tau_{\infty j}$$

3. Прието е (2.8), че Д-В работи в линейната част на магнитната

характеристика, а външната му характеристика  $U(I)$  в областта на малките токове е линейна и се представя по следния начин

$$(2.17) \quad I_{vj} = A_{lj}U_j + B_{lj}$$

Коефициентите  $A_{lj}$  и  $B_{lj}$  са положителни, защото с нарастване на тока расте и напрежението на Д-В. След заместване на (2.17) в (2.9) за коефициентът на топло-отдаване в  $j$ -ия интервал се получава

$$(2.18) \quad B_{ej} = S\alpha \left[ 1 + \frac{k_v \cdot Q_H}{S \cdot n_H} \cdot A_{lj} \cdot U_j \cdot \sqrt{\frac{c_v \cdot k}{k_m}} + \frac{k_v \cdot Q_H}{S \cdot n_H} \cdot B_{lj} \cdot \sqrt{\frac{c_v \cdot k}{k_m}} \right] - I_j^2 \cdot \alpha_o \cdot r_o$$

Ако се положи

$$\frac{\alpha_o \cdot k_v \cdot Q_H}{n_H} \cdot A_{lj} \cdot \sqrt{\frac{c_v \cdot k}{k_m}} = A_{Uj} \quad \text{и} \quad S\alpha + \frac{\alpha \cdot k_v \cdot Q_H}{n_H} \cdot B_{lj} \cdot \sqrt{\frac{c_v \cdot k}{k_m}} - I_j^2 \cdot \alpha_o \cdot r_o = B_{Uj}, \quad (2.18) \quad \text{приема вида}$$

$$(2.19) \quad B_{ej} = A_{Uj} \cdot U_j + B_{Uj}$$

Следователно, коефициентът на топлоотдаване е линейна функция на напрежението на Д-В. Като се отчетат допусканията, за топлинната времекопстанта и прегряването в  $j$ -ия интервал се получава

$$(2.20) \quad T_{ej} = C_p / (A_{Uj} \cdot U_j + B_{Uj})$$

$$(2.21) \quad \tau_j = \Delta P_{ej} / (A_{Uj} \cdot U_j + B_{Uj})$$

### III. Решение на задачата

Като се отчетат направените допускания интегралът (2.10) приема вида

$$(3.1) \quad E_j = \int_0^t (A_{lj} \cdot U_j^2 + B_{lj} \cdot U_j) dt = F(t)$$

при ограничаващи условия (2.11)

**Необходимото условие за минимум** на интеграла (3.1) е  $F'(t)$  да е равна на нула т.е.

$$(3.2) \quad F'(t) = A_{lj} \cdot U_j^2 + B_{lj} \cdot U_j = 0$$

Функцията  $F'(t)$  е квадратно уравнение без свободен член и има две реални нули.  $U=0$ . Това решение няма практически смисъл, защото е очевидно, че при изключен Д-В се реализира най-голяма икономия на енергия. Второто решение е

$$(3.3) \quad A_{lj} \cdot U_j + B_{lj} = 0 \rightarrow U_j = -B_{lj} / 2 \cdot A_{lj}$$

От условието  $A_{lj} > 0$  следва, че при  $U_j = 0$  функцията  $F(t)$  е растяща и когато напрежението расте, то нараства и  $F(t)$ . Следователно, когато напрежението приема минимум, то и  $F(t)$  има минимум, аналогично за максимум.

**Достатъчното условие за минимум** на интеграла (3.1) е втората му производна да е положителна. Условието е изпълнено, защото  $A_{lj}$  и  $B_{lj}$  са винаги положителни, а напрежението на Д-В съгласно (2.11) не може да бъде отрицателно. От зависимости (2.16), (2.19) и (3.1) следва, че в  $j$ -ия интервал

$$(3.4) \quad A_{Uj} \cdot U_j + B_{Uj} = \Delta P_{ej} / (a_{oj} + \sum_{j=1}^m a_{j,t}) = \Delta P_{ej} / \tau_j$$

Ако (3.4) се реши спрямо напрежението на Д-В, като се отчете (2.15) се

получава

$$(3.5) \quad U_j = (I_j^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_{cj}) / \tau_j \cdot A_{Uj} - (B_{Uj} / A_{Uj})$$

Зависимостта (3.5) е търсеното решение за минимум на интеграла (3.1) т.е. законът за управление на напрежението на Д-В, който осигурява минимален разход на енергия за охлаждане. Напрежението на Д-В е функция на две променливи - температурата на прегряване и загубите на мощност в ТД. Съгласно теорията за търсене на екстремум на функция на две променливи се определят частните производни на (3.6) спрямо товара на ТД и температурата на прегряване

$$(3.6) \quad \frac{\partial U}{\partial I} = \frac{2 \cdot I_j \cdot r_o}{\tau_j \cdot A_{Uj}}$$

$$(3.7) \quad \frac{\partial U}{\partial \tau} = - \frac{2 \cdot (I_j^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_c)}{\tau_j^2 \cdot A_{Uj}}$$

$$(3.8) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial I^2} = \frac{2 \cdot r_o}{\tau_j \cdot A_{Uj}}$$

$$(3.9) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} = \frac{4 \cdot (I_j^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_c)}{\tau_j^3 \cdot A_{Uj}}$$

$$(3.10) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial I \partial \tau} = - \frac{2 \cdot I_j \cdot r_o}{\tau_j^2 \cdot A_{Uj}}$$

**Необходими условия за екстремум.** Приравняват се производните (3.6) и (3.7) на нула и се съставя системата уравнения

$$(3.11) \quad \begin{cases} 2 \cdot I_j \cdot r_o / A_{Uj} \cdot \tau_j = 0 \\ (2 \cdot I_j^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_c) / A_{Uj} \cdot \tau_j^2 = 0 \end{cases}$$

От решението на (3.11) се получават две стационарни точки:  $M_1(0, \infty)$  и  $M_2$  (имагинерно число,  $\infty$ ). Точката  $M_2$  не е решение на системата, защото няма физически смисъл. Стойността  $\tau = \infty$  не принадлежи на интервала на изменение на прегряването, дефиниран с (2.11). Тогава стационарната точка  $M_1(0, \infty)$  придобива вида  $M(0, \tau_d)$ . Ако прегряването в (3.5) се замести с неговата горна граница на изменение  $\tau = \tau_d$ , се получава точка на екстремум за напрежението на Д-В

$$(3.12) \quad U(\text{extr}) = \frac{I^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_{cj}}{A_{Uj} \cdot \tau_d} - \frac{B_{Uj}}{A_{Uj}}$$

**Достатъчни условия за екстремум.** Изразът

$$(3.13) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial I^2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} - \left( \frac{\partial^2 U}{\partial I \partial \tau} \right)^2$$

който е съставен от вторите производни, се записва по следния начин

$$(3.14) \quad \frac{2 \cdot r_o}{A_{Uj} \cdot \tau_j} \cdot \frac{4 \cdot (I_j^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_c)}{A_{Uj} \cdot \tau_j^3} - \left( - \frac{2 \cdot I_j \cdot r_o}{A_{Uj} \cdot \tau_j^2} \right)^2 = 2 \cdot r_o \cdot \frac{2 \cdot I_j^2 \cdot r_o + k_c \cdot \Delta P_{cj}}{A_{Uj}^2 \cdot \tau_j^4} > 0$$

Втората производна (3.9) се записва във вида

$$(3.15) \quad \frac{\partial^2 U}{\partial I^2} = \frac{2.r_0}{A_{Uj} \cdot \tau_j} > 0$$

Достатъчното условие за екстремум е (3.14) и (3.15) да са с еднакви знаци, а условието (3.5) да има минимум е този знак да е положителен.

Съпротивлението, токът на ТД, загубите на мощност и прегряването са винаги положителни. Следователно, знаците на (3.14) и (3.15) са винаги положителни, защото  $A_U$  може да има само положителна стойност. От (3.14) и (3.15) следва, че в стационарната точка  $M(0, \tau_d)$  напрежението на Д-В има екстремум и той е минимум.

Областта на изменение на прегряването  $\tau$  и товарът  $I$  на ТД е правоъгълник. От условието  $I \geq 0$  и  $U \geq 0$  се получава

$$(3.16) \quad I_j^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_{cj} \geq B_{Uj} \cdot \tau_j$$

От (3.16) следват четири възможности:

1. Ако  $I > 0$  и  $U = 0$  - движение с много малък ток на ТД и при него напрежението на Д-В се анулира. Тогава от (3.16) следва

$$(3.17) \quad I_j^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_c = B_{Uj} \cdot \tau_d \quad \text{като } F(t)_{\min} = 0;$$

2. Когато  $I > 0$  и  $U > 0$  - движение с междинни стойности на тяговия ток и съответната стойност на напрежението на Д-В. Тогава

$$(3.18) \quad I_{sj}^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_{cj} \geq I_j^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_{cj} \geq B_{Uj} \cdot \tau_d$$

като минимумът на напрежението  $U$  се получава, когато  $I \rightarrow 0$  и  $\tau = \tau_d$ , като  $F(t)_{\min} > 0$ ;

3. Ако  $I = 0$  и  $U > 0$  - този режим на работа на вентилатора се получава при прегряване над допустимото, защото при ток на ТД равен на нула, следва, че и напрежението на Д-В трябва да се анулира. Този режим няма практически смисъл. От (3.17) следва

$$(3.19) \quad k_c \cdot \Delta P_{cj} \geq B_{Uj} \cdot \tau_d$$

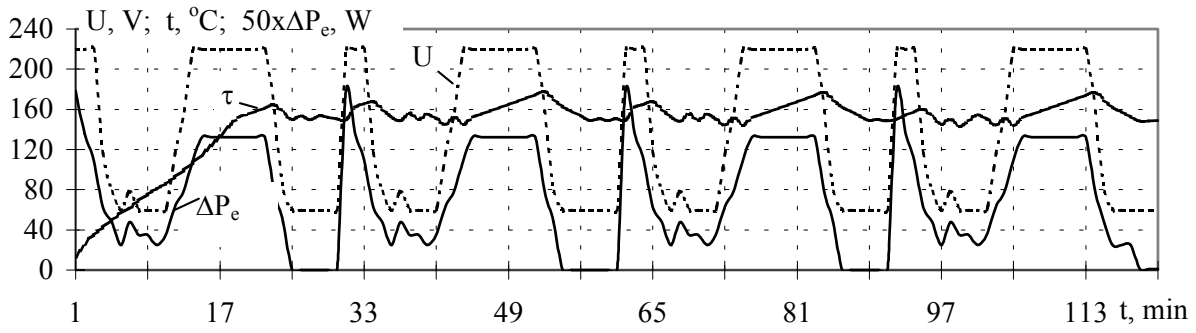
като минимумът на напрежението  $U$  се получава, когато  $I = 0$  и  $\tau = \tau_d$  като  $F(t)_{\min} > 0$ ;

4. Когато  $I=0$  и  $U=0$  - режим на движение по инерция. Минимумът на  $U$  се получава за всяко  $\tau$ , за което е изпълнено условието

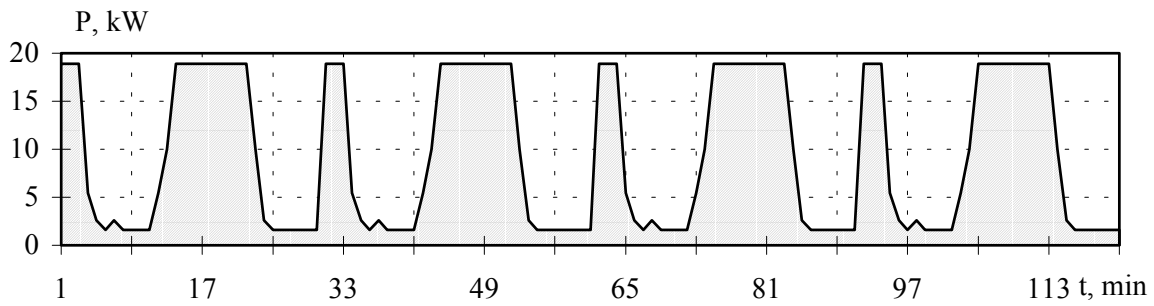
$$(3.20) \quad k_c \cdot \Delta P_{cj} = B_{Uj} \cdot \tau_d \quad \text{като } F(t)_{\min} = 0.$$

#### IV. Числен пример и заключение

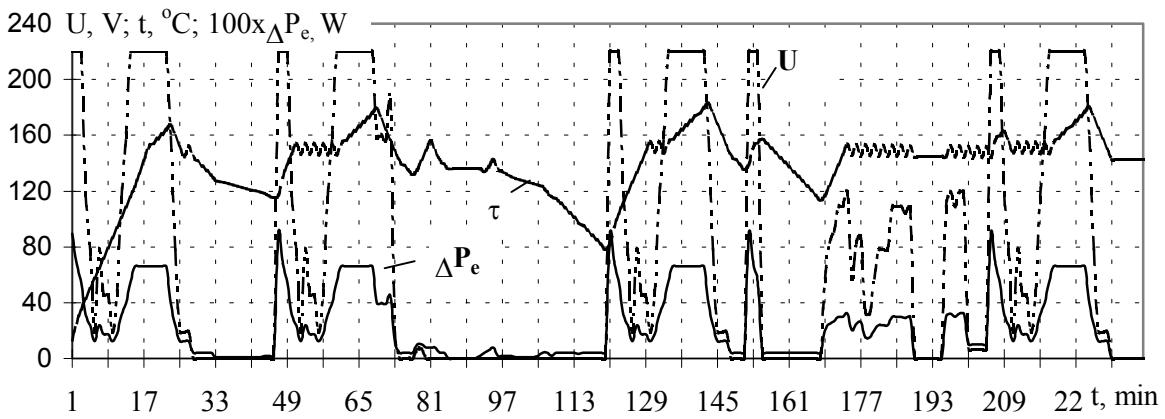
Като са използвани получените по-горе зависимости, с помоща на компютър е моделиран процесът на нагряване и охлаждане на ТД, при управление на напрежението на Д-В съгласно изведения по горе закон (3.5), и движение в участък с тежък променлив профил. Определено е количеството енергия, което се икономисва при движение на влак с тегло 800 тона.



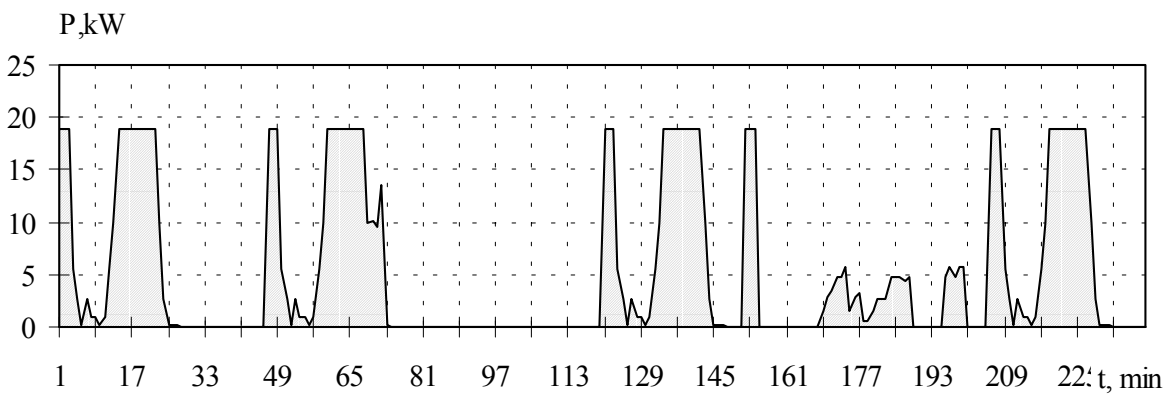
фиг.4.1



фиг.4.2



фиг.4.3



фиг.4.4



На фиг.4.1 са дадени зависимостите на загубите на мощност  $\Delta P_e$ , напрежението на Д-В U и температурата на прегряване на ТД  $\tau$  във функция на времето. Избраната стъпка на изчисление е 1 минута. Вижда се, че прегряването бързо достига до установен режим, след което се получава повторение на резултатите, поради това че влакът изминава многократно участък с един и същи профил.

На фиг.4.2 е показана зависимостта на мощността на Д-В във функция от времето. Защрихованите площи са пропорционални на разхода на енергия за вентилация. Общата енергия за охлаждане на електрообзавеждането в една талига, за разглеждания участък, е 18,88 kWh, а без регулиране на напрежението на Д-В -34 kWh. Следователно, при регулиране на напрежението на Д-В, съгласно изведения по горе закон, икономията на енергия е 47%. За всички вентилатори в локомотива (4 броя), консумираната енергия при съществуващата система на вентилация е 168 kWh, а при регулиране на напрежението на Д-В - 89 kWh. Икономисаната енергия води до повишаване на средния КПД на локомотива от 0,86 до 0,891.

При движение в по-лек участък еквивалентните загуби на мощност са по-малки и икономисаната енергия нараства значително фиг.4.3 и 4.4, а това води до по-голямо повишаване на средния КПД на локомотива (0,899).

#### **Заклучение:**

1. Изведен е закон за оптимално управление на напрежението на двигател-вентилаторите, който осигурява минимален разход на енергия за охлаждане без да се допуска прегряване им над допустимото.

2. Числените примери показват, че прилагането на закона за оптимално управление води до значително намаляване на разхода на енергия за охлаждане и до повишаване на средния КПД на локомотива.

3. Точни и обобщени резултати за повишаването на средния КПД на токоизправителните локомотиви при прилагането на изведения закон за управление на напрежението на двигател-вентилаторите, могат да се получат само след пълни изпитания в реални условия.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] РОЗЕНФЕЛД В.Е., ИСАЕВ И.П., СИДОРОВ Н.Н., Теория электрической тяги, Транспорт, 328 стр., Москва, 1983.
- [2] СТАЙКОВ Г. и др., Работни режими на електрически локомотиви, с.Железопътен транспорт, №12, 16 - 21 стр., С., 1973.
- [3] КОПИЛОВ И., Проектиране на електрически машини, Техника, 532 стр., 1988.
- [4] ИБРИШИМОВА Н.П., МИНКОВ П.Т. , Електрически транспорт, том I, ТУ - София, 1972.

# INCREASE OF THE POWER EFFICIENCY OF ALTERNATING CURRENT LOCOMOTIVES

L.Balgaranov, T. Jonov

*Technical University - Sofia, Bulgaria*

**Key words:** *electrical, equipment, energy, fan motor, cooling, consumption, optimizing, voltage control*

**Summary:** *At the alternating current locomotives, which are exploit in Bulgaria there is no regulation of the capacity of the cooling air and it brings to increased consumption of electrical energy. In the paper is shown the way to find suitable algorithm for voltage control of the fan-motor, which brings to minimum consumption of electrical energy for one's own need.*