

РЕЗУЛТАТИ ОТ ЛАБОРАТОРНИ ИЗПИТАНИЯ НА АЛГОРИТМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДВИГАТЕЛ-ВЕНТИЛАТОРИТЕ НА ТЯГОВ ДВИГАТЕЛ

Тодор Йонов

todyon@abv.bg

ЕФ, ТУ София, бул. Кл. Охридски №1 София,
БЪЛГАРИЯ

Резюме: В настоящата статия са представени данни от изпитанията на стенд за моделиране на топлинните процеси на тягов двигател, при различни алгоритми за управление на вентилаторите с реални данни за тяговият ток.

Ключови думи: топлинни процеси, алгоритми, моделиране, стенд, лабораторни изпитания.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Един от най важните енергийни показатели на електрическите транспортни средства е коефициентът на полезно действие η .

Той се определя от израза

$$(1) \quad \eta = \frac{F \cdot v}{F \cdot v + \Delta P_{\Sigma} + P_{CH}}$$

където F е теглителната (тяговата) сила на локомотива;
 v - скоростта на движение;
 ΔP_{Σ} - сумарните загуби
 P_{CH} - мощността за собствени нужди

Следователно подобряване на к.п.д. може да се постигне чрез:

- Сnižаване на загубите на мощност на силовите агрегати.
- Сnižаване на дела на енергия за нетягови нужди.

Известно е, че токоизправителните ЕТС имат по-нисък к.п.д. от постояннотоковите, което се дължи именно на по-големият разход на енергия за собствени нужди. Основният консуматор на електроенергията използвана за собствени нужди са двигател-вентилаторите [Д - В], който при експлоатиранияте у нас

локомотиви работят непрекъснато независимо от натоварването на тяговите двигатели [ТД].

Един от пътищата за намаляване на разхода на електроенергия и от там повишаване на к.п.д. на токоизправителните локомотиви е въвеждането на регулатор на дебита на Д - В в зависимост от натоварването на ТД. В [2] е изведен закон за оптимално по разход на енергия управление на дебита на Д - В.

С цел изпитването на такава автоматична система е разработен стенд [1], който позволява изпитването на различни алгоритми за управление на Д-В и моделиране на процесите на нагряване и охлаждане в ТД.

Тази статия е продължение на по-стари разработки на автора [1,2]. В настоящата статия са обобщени резултатите от изпитване на стенда с реални данни на тяговият ток на локомотив. Целта е да се види работата на стенда с приведени реални данни на тяговият ток на ТД и по-точно да се определи влиянието на намаляване на дебита на охлаждащите вентилатори върху прегряването на най-нагрялата част на тяговите двигатели – допълнителните полюси [ДП].

2. ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ЛОКОМОТИВИ

От литературата е известно, че тяговите двигатели са най-нагрети спрямо останалите елементи на електрообзавеждането. Тяхната най-нагрятая част са допълнителните полюси. По тази причина е достатъчно да се моделират топлинните процеси само в допълнителните полюси на ТД и да се контролира само тяхната температура, като се предполага, че останалите части на двигателя ще се нагреят по-малко. За стендът, който е разработен (описан подробно в [1]) тук са дадени коефициентите на подобие, представени в табл.1.

Таблица 1

Коефициент на подобие	Означ.	Ст-ст	Греш.
Коефициент на подобие по относителен дебит	K_Q	1	-
Коефициент на подобие по ток	K_I	280,31	-
Коефициент на подобие по нагриване	K_t	3,0425	$\pm 8,9 \%$
Коефициент на подобие по време	K_T	5,612	$\pm 10 \%$

3. АЛГОРИТМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДЕБИТА НА ВЕНТИЛАТОРИТЕ

При изпитанията на стенда са използвани реални данни за тяговият ток на електрически локомотив при движение по ж.п. мрежата.

Реалното изменение на тяговият ток е силно променливо и зависи от фактори като основното и допълнително съпротивление на движение, теглото на състава, начина на управление на локомотива, субективното въздействие върху системата за управление и редица други фактори. Топлинният режим на двигателите зависи не толкова от кратките промени на тяговият ток, колкото от трайната тенденция на повишение (или намаление) на последния, например при навлизане на състава в наклон. Заради съществената разлика между електрическата и топлинната времекостанти не може да се използва в чист вид кривата на тяговия ток, а тя трябва да се обработи като се отчита само тенденцията на трайно изменение на тока, като краткотрайните промени на последният се усредняват. На П.1 е показано

част от кривата на изменение на тяговият ток. От нея се вижда, че тяговият ток има много краткотрайни промени, които не могат да се отразят съществено на нагриването на ТД, заради многократно по-голямата топлинна времекоанта. За целта данните за тяговият ток са преработени като той се осреднява и преобразува съгласно коефициентът на подобие по ток, а времепътването в продължение на 8133 сек. (2:15:33), се свежда до около 24 минути работа на стенда съгласно коефициентът на подобие по време. Получената зависимост тягов ток – време ще бъде показана по-долу.

За определяне на икономията на енергия при различните режими на управление на вентилаторите се разглеждат следните режими на работа на стенда:

3.1. Алгоритъм на управление със непрекъснат дебит 100%

В момента Д-В на електрическите локомотиви работят непрекъснато без регулиране. Затова този режим се явява базов, резултатите са показани на фиг.1; Този режим е необходим за сравнение на получените резултати.

3.2. Алгоритъм на управление с постоянно понижен дебит

В момента единственото регулиране на дебита на Д-В е сезонно – през пролетта се увеличава напрежението заради очакваните по-високи температури през лятото, а през есента и зимата – обратно. Това регулиране на оборотите се прави независимо от товарите който локомотива тегли и наклоните по маршрута. Например при по-леки товари или изминаване на леки участъци през топлините сезони е възможно управление на Д-В на „зимна” позиция, с цел икономия на електроенергия. Това е дало основание да се избере алгоритъм на управление на Д-В с постоянно понижен дебит – на практика понижени обороти на Д-В независимо от тока на ТД. Естесвено това управление крие рискове от претоварване и трябва да се извършва след внимателен анализ на товара на съответния състав, маршрута на движение и след непрекъснато измерване на температурата на ТД. Когато става дума за лабораторни изследвания на стенд, такъв режим е анализиран и стенда може да се загрее и над предварително зададена температура, пропорционална на допустимата

за класа на изолация на ТД. На стедът са моделирани алгоритми на управление на Д-В с понижен дебит спрямо номиналния на три нива - 75% спрямо номиналния (фиг. 2), 50% (фиг. 3) и 30% (фиг. 4);

3.3. Режим на двустепенно управление на дебита

Двустепенно управление на дебита - високо и ниско ниво на вентилация - е алгоритъм на управление на Д-В в зависимост от стойността на тяговият ток. При увеличение на тяговият ток над определена, предварително зададена стойност, дебита на вентилаторите остава на високо ниво (в направените опити - 100%), а при понижаване на тока под предварителното избраната стойност Д-В преминават на ниското ниво на дебита (30 или 50%). Резултатите са дадени на фиг.2

3.4. Режим на управление съгласно закона за оптимално управление

Съгласно теорията за нагряване на еднородно тяло, при приложението и към многомасова система, каквато са допълнителните полюси на ТД, за прегряването е в сила уравнението

$$(2) \quad \tau = \frac{I^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_c}{B - I^2 \cdot r_0 \cdot \alpha_t} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_E}} \right)$$

Където I е токът на ТД
 ΔP_c , - загуби в стоманата;
 r_0 - съпротивление на намотките;
 α_0 - температурен коефициент на промяна на съпротивлението;
 B - приведен коефициент на топлоотдаване;
 T_E - топлинната времеконстанта;

Приведеният коефициент на топлоотдаване B зависи от специфичният коефициент на топлоотдаване, скоростта на охлаждащият въздух (дебита на вентилаторите), а вторият член $I^2 \cdot r_0 \cdot \alpha_t$ отчита промяната на съпротивлението на намотката при изменение на температурата. Общо двата члена дават еквивалентният коефициент на топлоотдаване B_E . При направените допускания, подробно описани в [2], се вижда, че еквивалентният коефициент на топлоотдаване може да се представи като линейна функция на напрежението на Д-В от вида $a \cdot U + b$. Като се има в пред вид, че числителят $I^2 \cdot r_0 + k_c \cdot \Delta P_c$ на (2) е фактически сумарните загуби ΔP

двигателя, за много малък период на изменение на тяговият ток (или $t \ll T_E$), се получава

$$(3) \quad \tau = \frac{\Delta P}{a \cdot U + b}$$

Ако се реши спрямо напрежението на Д-В (3) се получава

$$(4) \quad U = \frac{\Delta P}{a \cdot \tau} - \frac{b}{a}$$

Изразът (4), при минимизиране на напрежението на Д-В е решението на задачата за оптимално управление.

Анализът на (4) показва, че
 - при нулиране на сумарните загуби ΔP (нулев ток на ТД), напрежението става отрицателно, което на практика е невъзможно и би противоречало на ограничението, че напрежението на вентилаторите може да бъде с най-ниска стойност нула [2];

- Минимума на изразходвана енергия за вентилация се получава при нулиране на числителя - ΔP (нулев ток на ТД), на практика това означава, режим на движение по инерция. При такъв режим Д-В трябва да бъдат изключени;

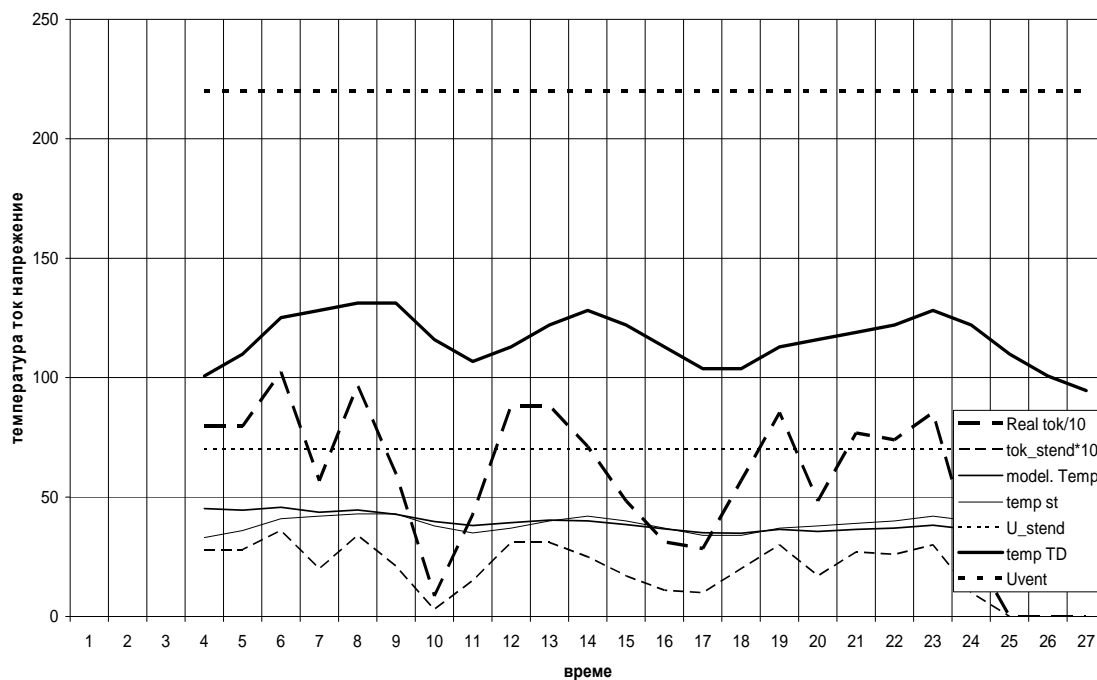
- От друга страна, при нарастване на прегряването се получават и най-високите стойности на икономията на енергия, като колкото по-високо е прегряването, толкова повече е икономисаната енергия за вентилация. Ограничението по прегряване се изменя в границите $0 \leq \tau \leq \tau_{\text{доп}}$, тогава при равенство на текущото и допустимото прегряване се получава минималната стойност на икономията на енергия.

При реални условия от определящо значение е да не бъде прегрян ТД повече от допустимата, за класа на изолация температура, поради бързото стареене на последната. При строго спазване на закона за оптимално по консумирана енергия управление на вентилаторите ($\tau = \tau_{\text{доп}}$), в някои случаи (например навлизане на състава в участък от пътя с голям положителен наклон) е възможно поради горната граница на напрежението за вентилация $U = U_n$ да не може да се охлади ТД. Или необходимо е, с цел сигурност, да се „избяга“ от поддържането условието $\tau = \tau_{\text{доп}}$. Това е възможно при задаването на малък температурен резерв.

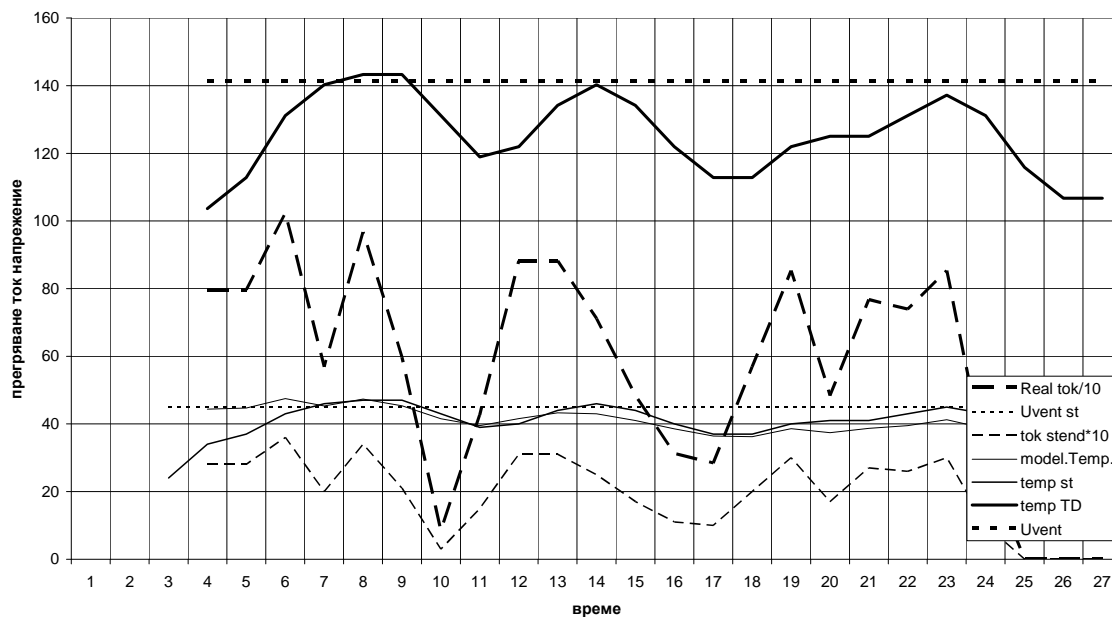
При моделирането на топлинните процеси на стенда е зададен малък (10^0C , за реални условия) температурен резерв и са разгледани са два основни варианта - работа на вентилаторите на минимални обороти при нулиране на тяговият ток (фиг. 7) и нулиране на напрежението на вентилацията при нулиране на тяговият ток (фиг. 8).

Допълнително към експерименталната проверка на стенда, съгласно закона за оптимално управление е направено и моделиране на топлинните процеси на персонален компютър, като резултатите от моделирането са показани на същите фигури.

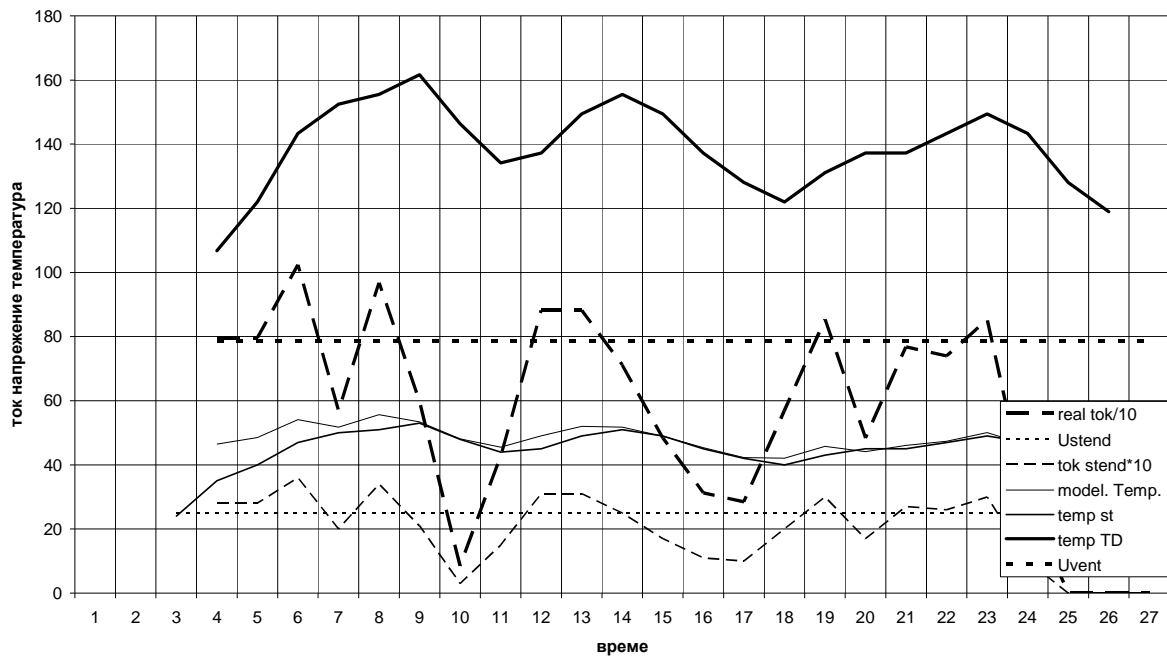
фиг. 1



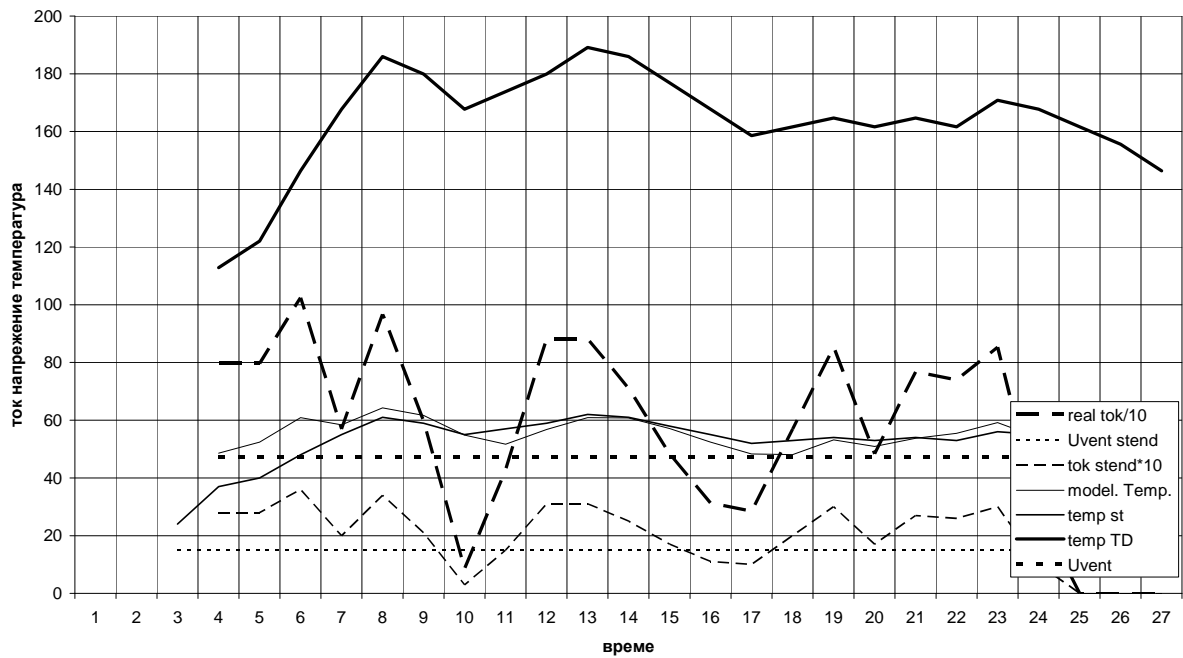
фиг.2



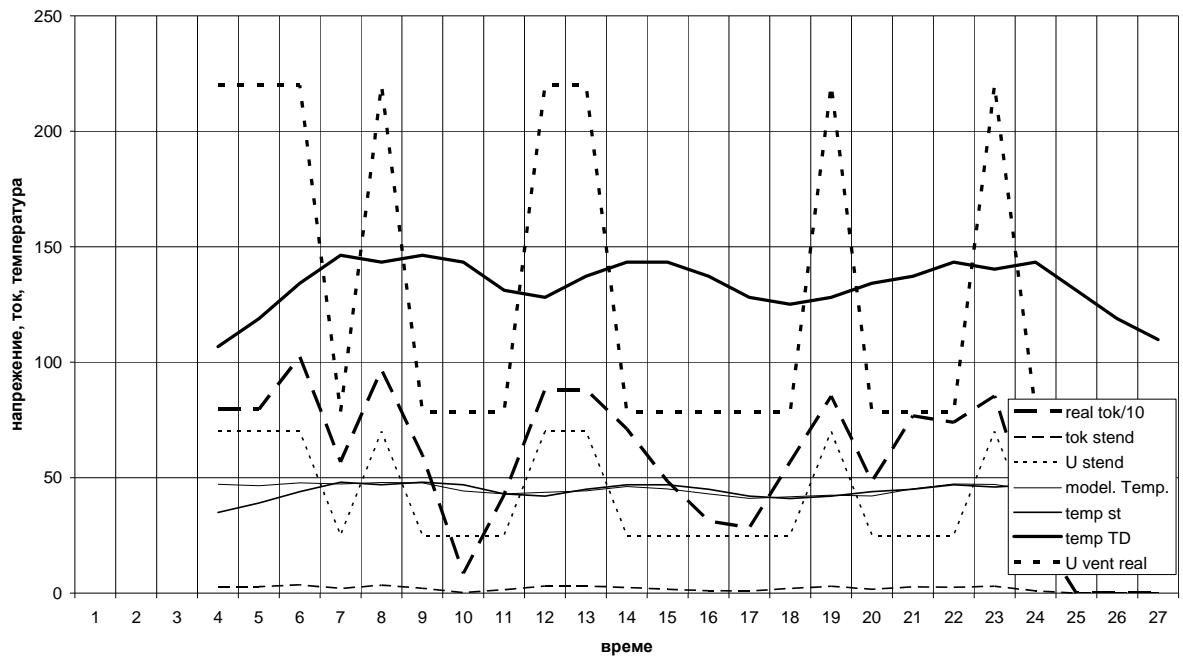
фиг.3



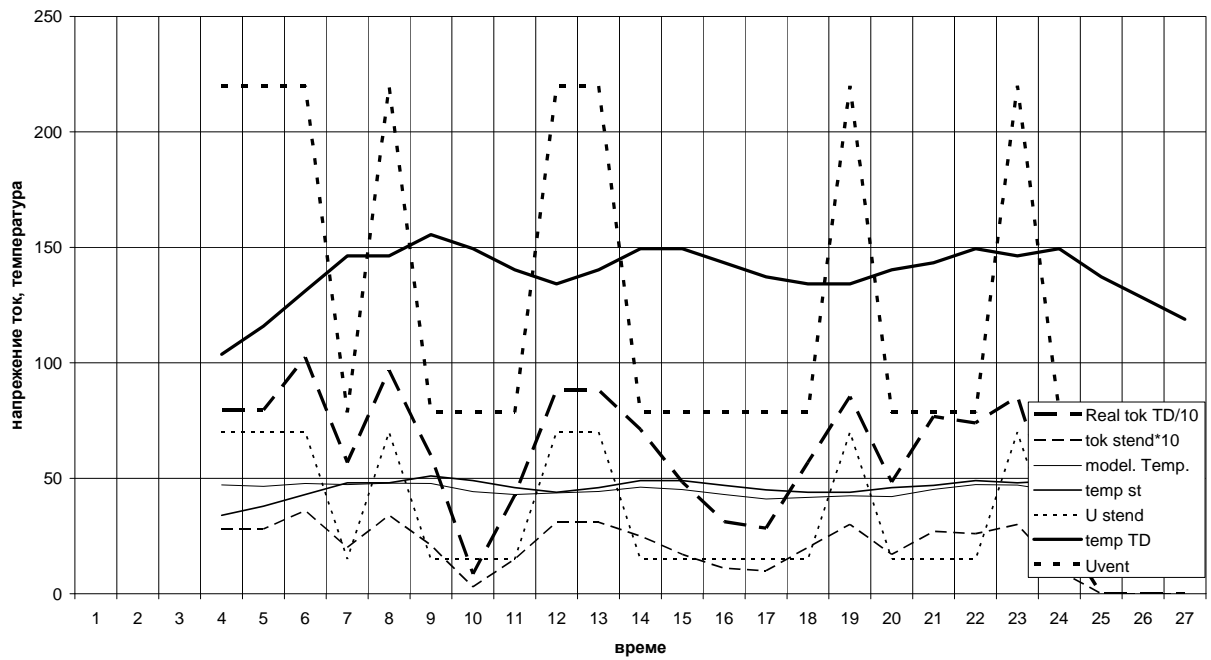
фиг. 4



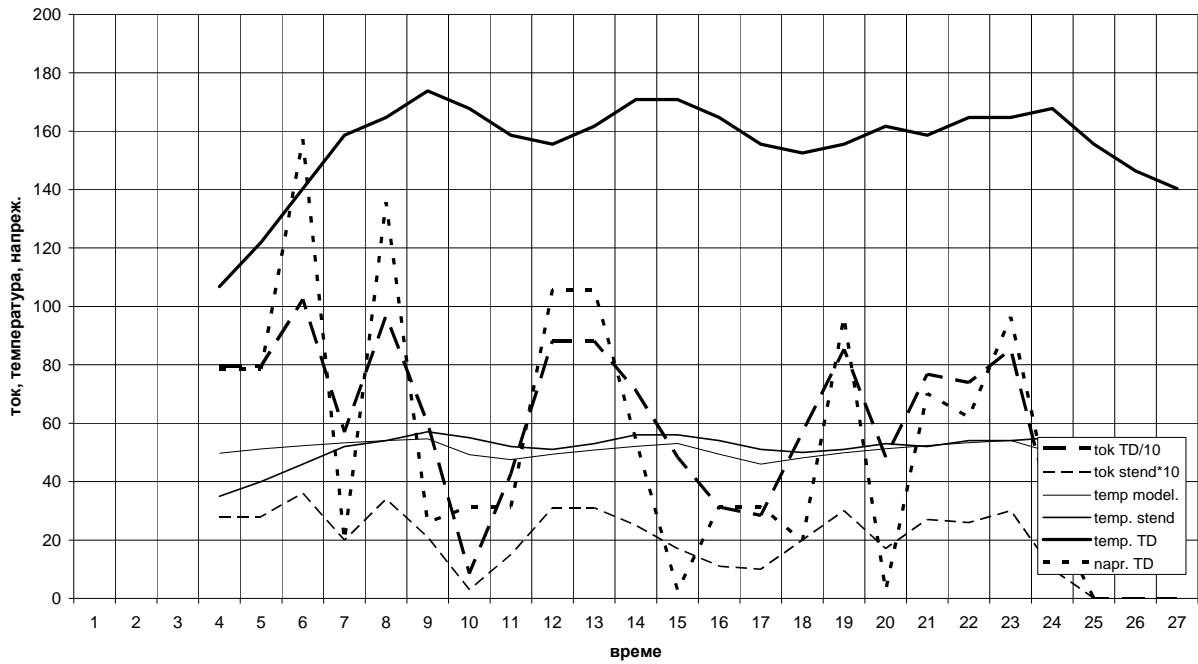
фиг.5



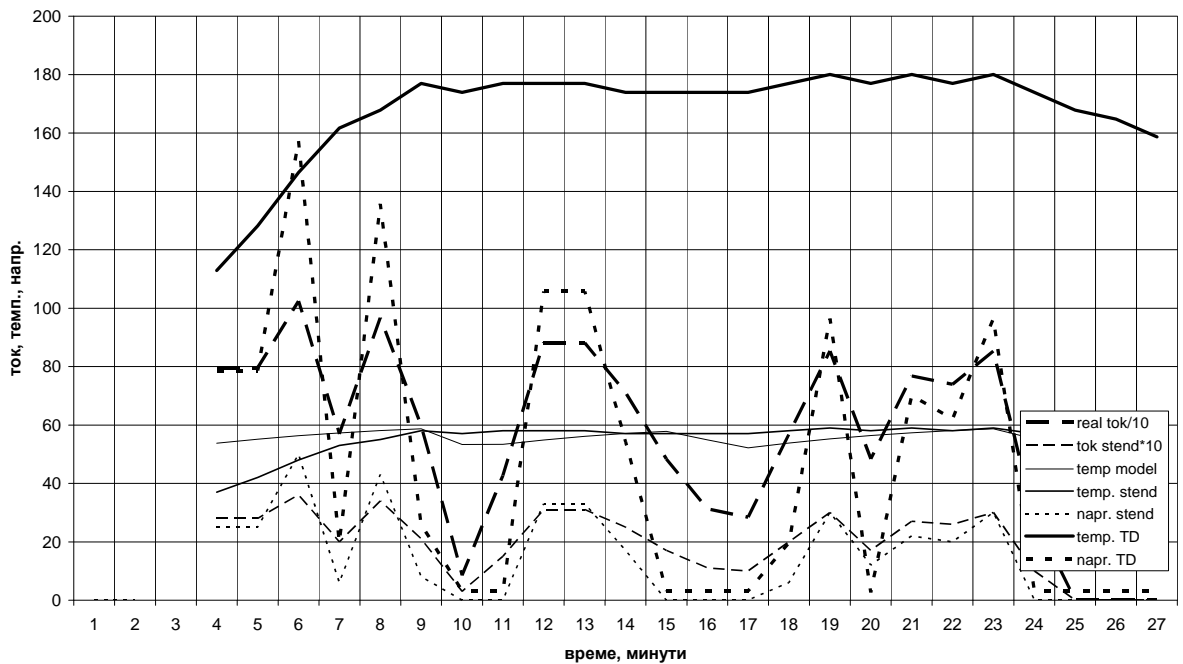
фиг. 6



фиг. 7



фиг. 8



На фигури 1-8 резултатите за стойностите на температурата, тока и напрежението на тяговите двигатели преизчислени за реални условия съгласно време-константите са дадени с плътни линии, а измерените стойности на стенда с по-тънки линии. С най-тънка линия е дадено преграването съгласно данните от компютърното моделиране на топлинния процес.

Общото количество на употребената за вентилация енергия се определя по познатата зависимост

$$(2) \quad E = U_B \cdot I_B \cdot t$$

В таблица 2 са представени резултатите от изчислените икономия на енергия и максималните температури, получени на стенда при различно управление на последния.

Таблица 2

вариант	Нач. $t^{\circ}\text{C}$ ТД	$t^{\circ}\text{C}$ max ТД	$t^{\circ}\text{C}$ max стенд	Икон. енерг.%
След. с резерв	73	174	57	87
След. с нулиране	73	180	59	89
100+50% дебит	73	144	48	55
100+30% дебит	73	156	51	62
100% дебит	73	131	43	Няма
75% дебит	73	143	47	55
50% дебит	73	161	53	83
30% дебит	73	190	62	92

4. АНАЛИЗ И ИЗВОДИ

От получените резултати се правят следните изводи:

- най голяма икономия на енергия за вентилация (92%) се получава при непрекъснато понижен дебит 30%. При този вариант на управление има превишение на температурата на стенда над допустимите 60°C (185°C реална температура на ТД);

- варианта на следяща система с нулиране – фиг. 2 - дава най висока икономия на енергия (89%) като в продължение на около минута на стенда (около 5 – 6 минути при реални условия) температурата е равна на допустимата 59°C (180°C реална температура на ТД), от фигурата се вижда, че в по-голямата част от времето температурата остава приблизително постоянна;

- варианта на следяща система с температурен резерв – фиг. 1 - дава по-ниска икономия на енергия (87%) като температурният резерв е 2°C (приблизително 6°C в реален ТД);

- комбинираните варианти на двустепенно управление на дебита – 100+50% и 100+30% дават по-малка икономия съответно – 55 и 62%, без превишаване на допустимата температура;

- най-интересен е случая с постоянно понижен дебит 50%. При него е постигната икономия на енергия 83% при температурен резерв 6°C на стенда (18°C реални). Трябва да се отбележи, че този начин на управление на вентилаторите е много по-лесно изпълним технически спрямо следящите системи. Недостатък в случая е, че тези резултати са

валидни само при наличните данни за кривата на тока, като при по-голямо натоварване е възможно температурният резерв да не достига и ТД да се прегреят недопустимо. Това показва, че при по-малко натоварени влакове с много малко средства е възможен много голям икономически ефект.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Йонов Т., Л. Българанов, П. Петкова Възможност за стъпално управление на дебита на двигател-вентилаторите на локомотиви “Шкода”, ВТУ “Т. Каблешков” Четиринадесета научна конференция с международно участие “Транспорт 2004” 11-12 XI 2004, Сборник доклади, стр. 362-366

[2] Българанов Л., Т. Йонов, Повишаване на енергийната ефективност на токоизправителни електрически локомотиви, Механика, транспорт, комуникации, електронно научно списание, МТС АЖ, рег. № 00015, бр. 1, 2003.

[3] L. Balgaranov, T. Jonov, Increase of the power efficiency of alternating current lokomotive, Elektryka, Prace naukowe, 1(7) 2004, Politechnika Radomska, Radom, Polska p 5-18

RESULTS OF LABORATORY TESTS ON ALGORITHMS FOR CONDUCTING TRACTION MOTOR – FANS OF TRACTION MOTOR

Todor Yonov

todyon@abv.bg

*EEE, Electrical faculty, Technical University, Sofia,
bul. Kl. Ochridsky № 1, Sofia*

BULGARIA

Key words: *Laboratory tests, Algorithms, Traction Motor, Fans*

Abstract: *In the article is presented data of the tests of stand for forming legalization of calorific processes of traction motor in different algorithms for conducting the fans with real data of traction current.*