

## АНАЛИЗ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ПРЕГРЯВАНЕ НА ГЛАВНИЯ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ДВИГАТЕЛ НА ЕДНОКОФОВ БАГЕР "HITACHI" В РУДНИК "ЕЛАЦИТЕ"

Кирил Джустров

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София e-mail: justrov@mgu.bg

**РЕЗЮМЕ:** Направен е анализ на евентуални причини за прегряване на главният електрически двигател на еднокофов багер "Hitachi" с инв. №10 в рудник "Елаците".

### ANALYSIS OF THE CAUSES OF OVERHEATING OF THE MAIN ELECTRICAL MOTOR OF SINGLE-BUCKET EXCAVATOR "HITACHI" IN "ELLATZITE" MINE

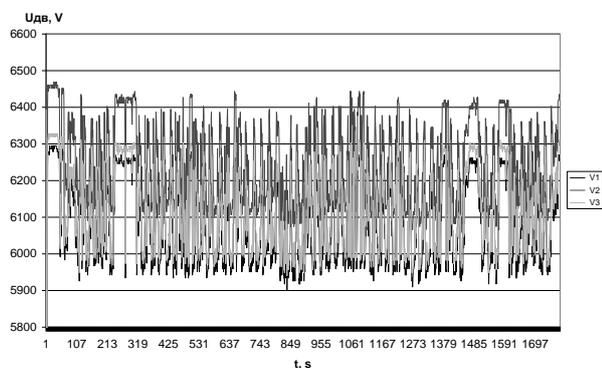
Kiril Dzhustrov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia e-mail: justrov@mgu.bg

**ABSTRACT.** An analysis of possible causes for overheating of main electrical motor of single-bucket excavator "Hitachi" № 10 in "Ellatzite" mine.

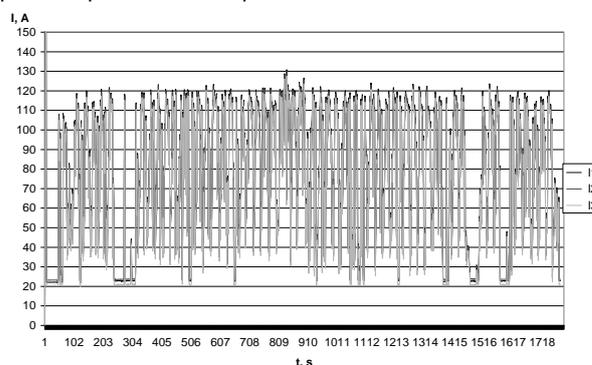
През летните месеци е забелязано прегряване на главният електрически двигател на еднокофов багер "Hitachi" с инв. №10 в рудник "Елаците", което води до сработване на топлинната му защита. В рудника работи още един багер от същия тип (с инв. №13), при който липсват проблеми в експлоатацията му. Серийното производство на багерите е за номинално напрежение 6600V, но конкретните двигатели са произведени за 6000V. Главният двигател задвижва хидравлични помпи, които от своя страна задвижват основните работни механизми на багера.

За анализ на причината, предизвикваща прегряването на багер №10 са измерени натоварванията на двигателите на двата багера в продължение на около 30 min за всеки, като с честота на запис 1s са снети трите фазни тока и напрежения.

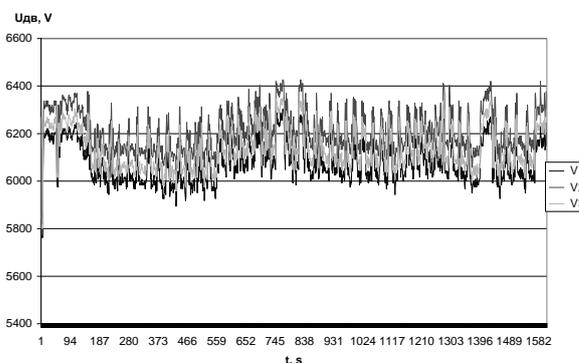


Фиг. 1. Напрежения на багер №10

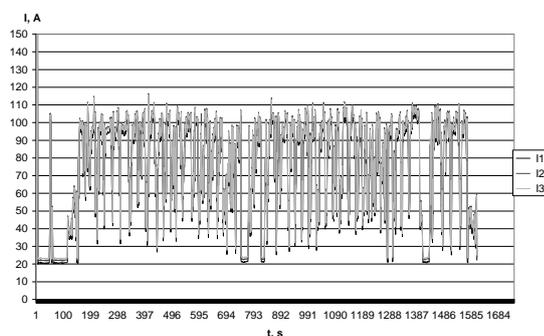
На фиг. 1 и фиг. 2 са дадени изменението на напреженията и съответно токовете на багер № 10, а на фиг. 3 и фиг. 4 – за багер № 13.



Фиг. 2. Фазни токове на багер №10



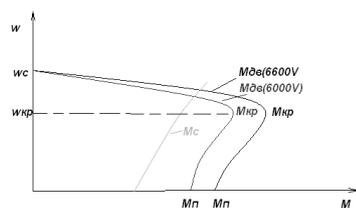
Фиг. 3. Напрежения на багер №13



Фиг. 4. Фазни токове на багер №13

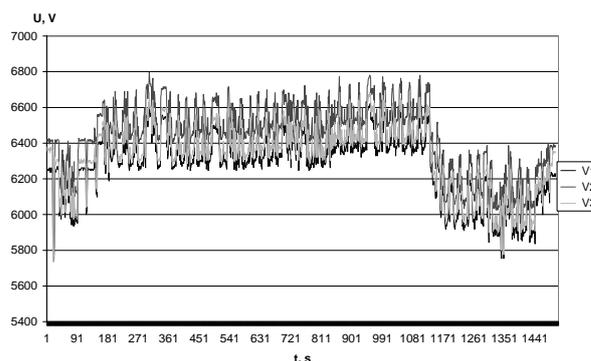
От направените измервания се вижда, че токът на празен ход на двигателите е приблизително еднакъв – около 21А за багер № 10 и около 22А за багер №13. Максимално регистрираните токове са съответно 130А за багер № 10 и 115,5А за багер № 13. Преобладаващите максимални стойности на токовете са: 120А за багер 10 и 108А за багер №13. Цитираните стойности са моментни и макар и надвишаващи номиналния ток на двигателите не са определящи за отделената топлина в двигателите. Меродавен за загубите в двигателя, респективно отделената топлина е еквивалентния (средноквадратичен ток) на двигателя. За измервания период от време на багер № 10 той е в порядъка на  $81,5 \div 84,1$  А (за отделните фази) и  $75,6 \div 78,3$  А за багер №13. Ако се приеме, че двигателите са еднакви (по което може да се съди по табелките им) и активното съпротивление им е еднакво, то е видно, че отделеното количество топлина в багер №10 е с 13,32% по-голямо от отделената топлина в двигателя на багер №13. Въпреки това, еквивалентния ток на двигателя е значително по-малък от номиналния им (99А), което предполага, че при равни други условия температурата им няма да надвиши допустимата за двигателя.

От фиг. 1 и фиг. 3 е видно, че напрежението на клемите на двигателя е близко до номиналните 6000V. Както е известно моментът на двигателя е пропорционален на квадратът на захранващото напрежение. В случая, то е приблизително еднакво за двата двигателя, което означава, че те ще работят приблизително на една и съща точка от механичната характеристика (при еднакъв съпротивителен момент на двата агрегата), следователно и с еднакъв ток (по електро-механичната характеристика). За двигателя на багер № 10 този ток е с 11-12% по-голям, което може да се обясни с някоя от следните възможности: По-голям съпротивителен момент на багер №10 или по-малък момент на двигателя на същия багер. От фиг. 1 и фиг.3 е видно, че втората причина се изключва. Ако се допусне, че номиналното напрежение на двигателя на багер №10 е по-високо (напр. 6600V), то втората причина добива реален смисъл (фиг. 5).

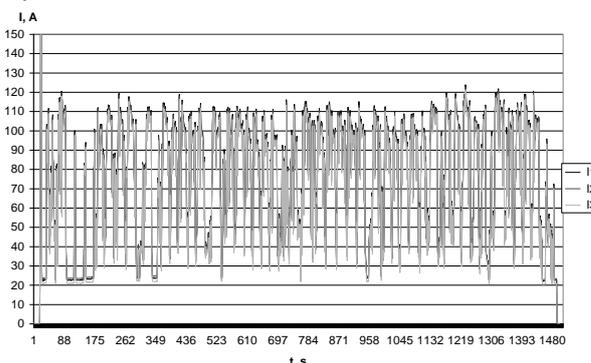


Фиг. 5. Механична характеристика на двигателя при различни захранващи напрежения

Направен е запис на токовете, напрежението и мощността на двигателя на багер Hitachi с инв. № 10 при повишено напрежение (до 6,6kV) от извода в подстанцията.



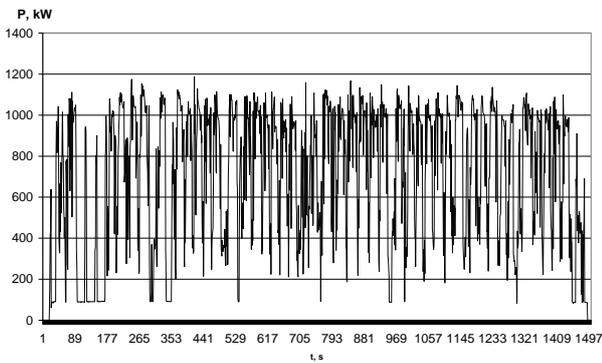
Фиг. 6. Напрежения на двигателя на багер Hitachi №10 при различни напрежения от подстанцията



Фиг. 7. Изменение на фазните токове на двигателя на багер № 10 при промяна на напрежението

От фиг. 6 и фиг. 7 е видно, че при повишаване на напрежението, черпеният от двигателя ток намалява. Така например за времето от 945-та до 1130-та секунда (максимално напрежение и пълнен цикъл на товарене на самосвал) трите средни линейни напрежения са: 6440V; 6600V; 6490V. Средноквадратичните токове са между 77,4 до 79,8 А. Върховите стойности на тока са около 108 А, т.е. както при багер №13. От двете фигури се доказва, че с повишаване на напрежението на клемите на двигателя до 6600V, токовете ще бъдат подобни на тези на двигателя на багер Hitachi с инв. № 13 (78А), т.е. отделеното количество топлина и съответно прегряванията на двата двигателя ще бъдат съизмерими при равно активно съпротивление на двигателите. Тези измервания показват, че по всяка вероятност двата двигателя са за различно номинално напрежение. Не е изключена възможността двигателя на багер Hitachi с инв. № 10 да е конструиран за по-висока мрежова честота (напр. 60Hz). В този случай при честота 50Hz механичната му характеристика ще се транслира надолу, с по-малък момент и увеличен ток за запазване на необходимата механична мощност.

На фиг. 8 е дадена черпената от мрежата мощност на двигателя на багер Hitachi с инв. № 10 при изменение на напрежението. Видно е, че тя не зависи от големината на захранващото напрежение. Максималните мощности достигат до около 1100kW, а средната мощност е 713kW. Имайки в предвид, че и средноквадратичните токове не надвишават номиналния, възникват и други три теории:

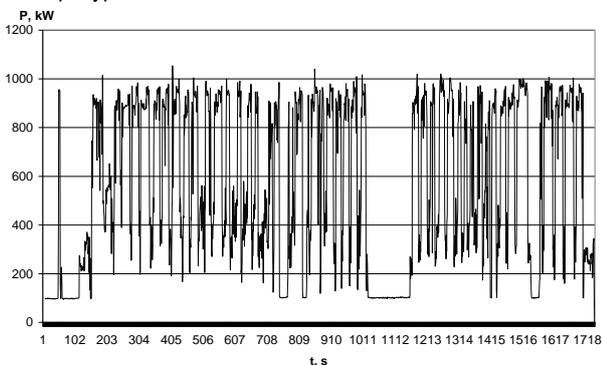


Фиг. 8. Консумирана от мрежата мощност на двигател на Hitachi №10

1. Двигателят не е предназначен за продължителен режим на работа R1, а например за повторно-кратковременен режим R4;

2. Недостатъчно охлаждане на двигателя;

3. По-висока допустима температура за двигателя, от обявената от производителя 130° С (отговаряща на клас на изолацията В). Обикновено двигателите се произвеждат с клас на изолацията F ( $T_{\text{доп}}=155^{\circ}\text{C}$ ) или H ( $T_{\text{доп}}=180^{\circ}\text{C}$ ). Експлоатационният живот на двигателите зависи от достиганите температури. Нормално е максимално достиганите температури да бъдат с около 15°С по-ниски от допустимите, при което живота на машината се запазва. С това може и да се обясни работата на двигателя в продължение на повече от 2 години, без изключения. По всяка вероятност оригиналният аналогов елемент на температурната защита е бил настроен на по-висока температура.



Фиг. 9. Консумирана от мрежата мощност на двигател на Hitachi №13

На фиг. 9 е показана консумираната от мрежата мощност на двигателя на багер Hitachi с инв. № 13. Съпоставяйки я с тази на фиг. 8 се вижда, че е значително по-ниска от тази на багер №10. Максималните стойности не надвишават 1000 kW, а средната стойност между 200-та и 1000-та секунда е 605 kW. Видно е, че багер №13 работи при по-лек режим от багер №10. Това може да се дължи на някоя от следните две причини:

1. По-голямо натоварване на багер №10, следствие по-голям съпротивителен момент на хидравличните помпи;

2. По-голямо относително тегло на скалата по която работи багер №10.

Измерени са пълните съпротивления на намотките на двигателите по метода на волтаперметъра с променливо напрежение. Измерването е направено на изходящия кабел за двигателите. Поради това получените резултати са за двойки намотки при свързване в звезда. За багер № 10 е измерено и активното съпротивление на намотките, както и индуктивността им.

Таблица 1

Намотки	За изчисление на пълното съпротивление		Индуктивност, Н	Изчислено пълно съпротивление, $\Omega$	Активно съпротивление, $\Omega$
	U, V	I, A			
№ 10					
I-II	247	11,70	$48,5 \cdot 10^{-3}$	21,1	1,049
II-III	247	11,57	$50,7 \cdot 10^{-3}$	21,3	1,042
I-III	247	11,80	$50,7 \cdot 10^{-3}$	20,9	1,045
№ 13					
I-II	248	7,13		34,8	
II-III	248	7,50		33,1	
I-III	248	7,48		33,2	

Поради невъзможността за измерване на отделните намотки самостоятелно, стойностите на съпротивленията за отделните двойки намотки да се разглеждат по-скоро качествено, а не количествено (така напр. при свързване в звезда протичащият променлив ток за определяне на пълното съпротивление ще създава намагнитващо поле в едната намотка и размагнитващо в другата). Измереното активно съпротивление на намотките е само за статора и не е прибавено приведеното активно съпротивление на ротора. Въпреки това, те дават представа за качеството на двигателя. Те са приблизително равни и са в границите на допустимите грешки. Това е предпоставка да се твърди, че намотките са симетрични и няма междувитково късо съединение. Голямата разлика обаче в пълното съпротивлението на двата двигателя е смуцаващо и може да се дължи на някой от следните фактори: разлика в конструкцията на двата двигателя; разлика в номиналните им запазващи напрежения; разлика в свързването на намотките (звезда-триъгълник). Не е изключена и друга причина.

За ориентировъчно изчисление на преграждането на двигателя са изчислени стойностите на активните съпротивления на двигателите по заводски данни за различни номинални напрежения, по формулите:

$$R_1 = \frac{U_H \cdot (1 - \eta_H)}{\sqrt{3} \cdot k_{cx} \cdot I_H}; \quad \Delta P_{НОМ1} = 3 \cdot I_H^2 \cdot R_1 \quad \Delta P_{НОМ2} = \frac{P_H \cdot s_H \cdot 10^3}{1 - s_H}$$

$$R_{\delta B} = \frac{\Delta P_{НОМ1} + \Delta P_{НОМ2}}{3 \cdot I_H^2},$$

където:  $k_{cx}$  – коеф. на схемата, за звезда е равен на 1  
 $\Delta P_{НОМ1}$  – загубите на мощност в статора  
 $\Delta P_{НОМ2}$  – загубите на мощност в ротора  
 $s_H$  – номиналното хлъзгане

Прилагайки закона за отделеното количество топлина

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

и опростеното уравнение на топлинния баланс

$$S \cdot \alpha \cdot \theta = I^2 \cdot R,$$

където:  $S$  – охлаждаща повърхност на двигателя  
 $\alpha$  – коефициент на топлоотдаване

Таблица 2

величина	Багер № 13		Багер № 10		
	Un=6kV, Ump=6kV	Un=6kV, Ump=6kV	Un=6kV, Ump=6,6kV	Un=6,6kV, Ump=6,6kV	Un=6,6kV, Ump=6kV
1	2	3	4	5	6
съпротивление на двигателя Rдв, Ω	1,785	1,785	1,785	2,078	2,078
средноквадратичен ток Iск, А	78	84	78	78	84
отделено количество топлина Q, J	39,1.10 <sup>6</sup>	45,3.10 <sup>6</sup>	39,1.10 <sup>6</sup>	45,5.10 <sup>6</sup>	52,8.10 <sup>6</sup>
<sup>1)</sup> прегряване $\theta = t_{дв} - t_{oc}$ , °C	100	116	100	116,4	135

Забележка: 1) – тъй като  $S$  и  $\alpha$  на двигателя не са известни се полага, че за багер № 13 прегряването е например 100 °C и се преизчислява за двигателя на багер № 10. В този смисъл изчисленото прегряване дава само качествена оценка с цитираните числа, но лесно може да даде прегряването в относителни единици.

От резултатите в таблицата може да се обобщи следният съществен извод: По-ниското захранващо напрежение от номиналното за двигателя, води до по-голямо отделено количество топлина и съответно по-голямо прегряване.

Ако действително номиналното напрежение на двигателя е за 6,6kV, то увеличението на мрежовото напрежение до 6,6kV отделеното количество топлина, респективно прегряването на двигателя, в сравнение с двигател с Un = 6kV и захранван с Ump = 6kV (кол. 3 и 5 на табл.2), но ще доведе до по-ниско с 13,8% прегряване двигател за 6,6 kV, захранван с напрежение 6kV (кол. 5 и 6 на табл.2).

От направеният анализ може да се направят следните изводи:

1. От измереното пълно съпротивление на двата двигателя е вероятно те да са различни по конструкция, начин на свързване, захранващо напрежение и/или честота;

2. От измерените мощности може да се стигне до заключението, че багер №10 е в по-тежък режим от багер №13. Най-вероятно това се дължи на увеличен съпротивителен момент от хидравличните помпи (поради

$\theta = t_{дв} - t_{oc}$  - прегряване на двигателя

$t_{дв}$  – температура на двигателя

$t_{oc}$  – температура на околната среда

за варианти на двигатели и захранващи напрежения, се получават резултати, обобщени в следната таблица:

износване или друг дефект). И в двата случая средната мощност е по-малка от номиналната, което е допустимо за двигателите.

3. Увеличението на захранващото напрежение на багер №10 ще облекчи топлинно двигателя ако той е произведен за Un = 6000V (кол. 4 на табл.2) и ще достигне температурите на багер №13.

4. Ако номиналното напрежение на двигателя е Un = 6600V и се захранва с по-ниско напрежение (напр. 6000V), то отделената топлина и респективно прегряване ще бъде с 35% по-високо от това на багер № 13. Съдейки по достиганите температури от двата двигателя, може да се предположи, че случая е именно този. В същото време, ако се увеличи захранващото му напрежение до номиналното (до 6600V напр. с автотрансформатор), ще се намали прегряването с 13,8%.

5. В зависимост от класа на изолацията на намотките на двигателя, може да се увеличи настройката на температурната защита, без това да доведе до съществено скъсяване на експлоатационния живот на двигателя.

6. Категорично може да се твърди, че липсва вътрешна електрическа повреда в двигателя на багер №10.

## Литература

1. Основы теории электрических аппаратов, под ред. Буткевича, "Высшая школа", М, 1970
2. Джустров К., Отчет по задача "Измерване на електрически параметри", 2010г., Архив МГУ "Инженеринг"