

ОТНОСНО ОЦЕНКАТА НА РЕСУРСА НА МНОГОКОФОВИ БАГЕРИ

Петко Недялков¹, Иван Минин², Симеон Савов³

¹ ТУ – София, МФ, кат. МЕНК, nedpetko@tu-sofia.bg

² МГУ "Св. Иван Рилски" – София, МЕМФ, кат. ММ, minin_ivan@abv.bg

³ МГУ "Св. Иван Рилски" – София, МЕМФ, кат. ММ, ss.ss@abv.bg

РЕЗЮМЕ: В работата разглеждат постановки при определяне ресурса на металоконструкциите в сложни минно-добивни машини каквито са роторните багери, както и някои постановки при методите за оценка на остатъчния ресурс. Разгледани са основните показатели определящи динамичното натоварване на металоконструкцията. Разгледани са разлики при определяне на ресурса по средно годишна оценка, по производителност и по чисто работно време.

Ключови думи: металоконструкция, оценка на ресурса, динамично натоварване

CONCERNING ON RESOURCE ASSESSMENT OF BUCKET WHEEL EXCAVATORS

Petko Nedyalkov¹, Ivan Minin², Simeon Savov³

¹ TU – Sofia, Faculty of Mechanical Engineering, dept. MENK, nedpetko@tu-sofia.bg

² UMG "St. Ivan Rilski" – Sofia, FMEM, dept. MM, minin_ivan@abv.bg

³ UMG "St. Ivan Rilski" – Sofia, FMEM, dept. MM, ss.ss@abv.bg

ABSTRACT: This paper deals with some formulations in resource assessment for metal constructions of a mine bucket wheel excavators and with some formulations in method of a resource assessment. There are examined the base indices describing dynamical load in metal construction. There are research some differences in assessment based on averaged annual rating, on productivity and on net working time.

Keywords: steel frame metal construction, resource assessment, dynamical load

УВОД

Използването на комплексни и високопроизводителни машини в откритите рудници за добив на въглища и откривка доближава историческия период от 100 години. В съвременните открити рудници един забой обикновено се обслужва от един многокофов багер и в този аспект спирането на съответния багер води до технологично спиране на съответния забой и всички свързани машини след него в технологичната верига. При подобна постановка всички престои за обслужване, ремонт, капитален ремонт или рехабилитация са планирани. Планирани също така са и оперативните възможности на багера или неговият ресурсен живот.

В аспекта на ресурсни изчисления - изчисляване на изразходван ресурс или остатъчен ресурс поради комплексността и сложността на минно-добивните багери с множество възли и агрегати, се взимат под внимание няколко основни показателя, при прието условие, че всички агрегати и възли са с неколкостранно по-малък ресурс от самия багер и във фазите на периодични ремонти са заменени, модернизирани или ремонтирани.

Това условие дава свободата да се оцени ресурсът на конструкцията, съоръженията и възлите, формиращи стоманената носеща конструкция на багера, без да се взима предвид оценката на основните работни агрегати и възли на машината. Основните показатели, влияещи и формиращи тази оценка, са:

- напрежения и деформации в елементи и заварени възли (конструкции), формиращи стоманената носеща конструкция - в общия случай тези величини и показатели са отчетени от конструкторите и проектантите или са проведени технологични експерименти със запис на напрежения или деформации;
- наличие на корозия - субективен оценъчен фактор за формиране на нетипични концентратори на напрежение около корозионните петна и намаляване на работното сечение на елементите в резултат на корозия;
- анализ на работните условия и оценка на случайните въздействия, ветровото натоварване, претоварванията и т.н - на базата на превантивното изключване на машините и системите, застрашени от претоварване при ветрово натоварване в багерите се инсталират предупредителни системи и системи за аварийно изключване;

- анализ на аварийните ситуации и аварийните въздействия върху багера - анализ и преизчисляване на определени елементи, пострадали или заменени заради аварийни въздействия върху тях - тези анализи са полезни, но се случват в резултат от натрупването на случайни (стохастични) фактори и прогнозната им стойност не е висока;

- брой работни цикли – зависещ от т.нар. умора на материалите, което явление е свързано с развитие на микродефекти и нарушаване на изотропността на материалите под действие на периодично променливи напрежения. Границата на умора на материала е такава граница, при която детайлите се разрушават крехко, от макродефекти - пукнатини формирани от натрупването на микродефекти, при напрежения по-ниски от границата на разрушаване за съответния материал. Границата на умора е свързана с броя цикли, въздействащи на дадения елемент, и с напреженията, на които е натоварен. За конструкционните стомани е прието да се смята, че развитието на пукнатини е свързано с наличие на концентратор на напрежение;

- други въздействия и феномени.

Теоретична постановка

Основен фактор при избор на багер и оценката му в аспект на основно добивно звено в технологичната схема на добив на откритка и възглица е неговата експлоатационна производителност:

$$Q_{vE} = Q_v \cdot k_{eq} = Q_v \cdot k_s \cdot k_T \cdot k_b$$

$$= Q_v \cdot k_s \cdot k_T \cdot \frac{k_{fill}}{k_{bl}}, \quad \frac{m^3}{h} \quad (1)$$

където:

- k_s , – коефициент, отчитащ особеностите на забоя;
- k_T , – коефициент, отчитащ използваемостта на багера по време;

$$k_b = \frac{k_{fill}}{k_{bl}}$$

- k_{bl} коефициент на напълване на кофата с материал, свързан с особеностите на кофата и разбухването на материала;

$$Q_v = q_b \cdot z_b \cdot 60, \quad m^3 / h \quad (2)$$

- теоретична производителност на багера при работа с насипни материали или техническа производителност на багера, където:

- q_b , m^3 - обем на кофата;
- z_b , bp/min - брой на разтоварените кофи за единица време;

В резултат от разглеждането на тези величини могат да се формулират няколко други:

- * Коефициент на използване на багера по производителност:

$$k_U = \frac{Q_{vEsum}}{Q_{vRes}} \cdot 100 = \frac{Q_{vEsum}}{Q_v \cdot A_h \cdot R_E} \cdot 100, \quad \% \quad (3),$$

където R_E , *години* е обобщеният ресурс на багера в години, а A_h е броят работни часове в годината, като:

$$A_h = 24 \cdot 365 = 8760 \text{ h} \quad (4)$$

Тази величина е формирана от разделянето на експлоатационната сумарна производителност на багера за целия период на оценка с неговата техническа производителност за ресурсния му период. Сумарната експлоатационна производителност на багера за целия отчетен период Q_{vEsum} е интегрален критерий за използваемостта на багера, както по време така и по производителност. Коефициент на остатъчен ресурс на багера по използваемост на производителността:

$$k_{RTP} = \frac{Q_{vRes} - Q_{vEsum}}{Q_{vRes}} \cdot 100 = 1 - \frac{Q_{vEsum}}{Q_{vRes}} \cdot 100, \quad \% \quad (5)$$

В тази постановка се намесва коефициентът на използване по чисто работно време, който най често отчита използването на багера като чисто работно време на годишна база:

$$k_{TU} = \frac{W_{tA}}{A_h} \cdot 100, \quad \% \quad (6),$$

където:

- W_{tA} , h – чисто работно време за годината в часове.

При всички препоръки и разглеждания в литературата и стандартите по въпроса този коефициент на използване по (чисто работно време) не надхвърля 50% или се приема стандартен усреднен коефициент на използване по време

$$k_{TE} = 0.5 = 50 \% \text{ (Кинов 2004, Павлов 2014),}$$

което дава основание за преизчисляване на остатъчния ресурс спрямо действителния коефициент на използване по време, като:

$$R_{TP} = \frac{k_{TE}}{k_{TU\Sigma}} \cdot (R_E - E_{TW}), \quad y(\text{год.}) \quad (7)$$

където:

- коефициент на сумарна времева използваемост:

$$k_{TU\Sigma} = \frac{W_{tSum}}{A_h \cdot R_E} \cdot 100, \quad \% \quad (8)$$

- E_{TW} , $y(\text{год.})$ – реална експлоатационна продължителност в години,

- W_{tSum} , h – чисто работно време на работа на машината (за периода E_{TW}) в часове.

Дадените до тук формулировки позволяват да се разгледа коефициентът на остатъчния ресурс по усреднен коефициент на използване по време като:

$$k_{RTP} = \frac{R_{TP}}{R_{Ah}} \cdot 100, \quad \% \quad (9)$$

Може да се въведе и коригиран ресурс по време:

$$E_{YW} = E_{TW} \cdot \frac{k_{TU\Sigma}}{k_{TE}}, \quad y(\text{год.}) \quad (10)$$

Така разгледаната постановка въвежда няколко параметъра, които на база на усреднен коефициент на използване по време увеличават остатъчния ресурс на годишна база, например при сумарен коефициент на използване по време $k_{TUS} = 0.32 = 32\%$ и реален експлоатационен срок $E_{TW} = 38$ у (години), коригираният ресурс е:

$$E_{YW} = E_{TW} \cdot \frac{k_{TUS}}{k_{TE}} = 38 \cdot \frac{0.32}{0.5} = 24.32 \text{ у (год.)}$$

а остатъчния ресурс е:

$$R_{TP} = \frac{k_{TE}}{k_{TUS}} \cdot (R_E - E_{TW}) = \frac{0.5}{0.32} \cdot (30 - 24.32) = 8.9 \text{ у (години)} \quad (11)$$

като по този начин се получава увеличаване на експлоатационния срок на машината на 47 години.

Ако разгледаме ресурса на машината в работни часове, чисто работно време или друг часови параметър, може да се дефинират следните няколко параметъра:

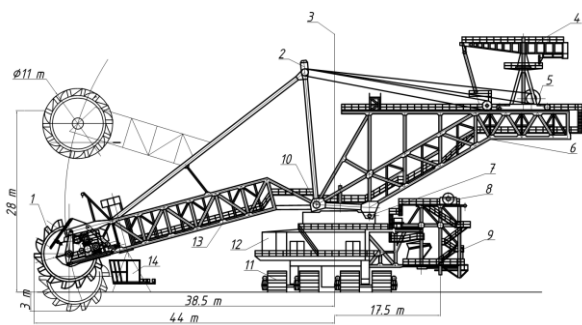
- обобщен часови ресурс за година -

$$R_{Ah} = k_{TE} \cdot A_{h100\%} = 0.5 \cdot 24 \cdot 365 = 4380 \text{ h} \quad (12)$$

- обобщен часови ресурс за ресурсния период

$$W_h = R_{Ah} \cdot R_E = 4380 \cdot 30 = 131\,400 \text{ h} \quad (13)$$

което съпоставимо с класическия живот на отделни възли и агрегати приет за 10 000h е над 10 пъти. Или използвайки друга терминология - резултатът показва оценка на живота на машината над 10 основни ремонтни периода за основните работни агрегати.



Фиг. 1. Общ вид на багер SRs 2000 30.3 (2x500 kW)

За да се конкретизира фокусът на изследването върху определена машина, например багер SRs 2000, резултатът може да се обърне в брой цикли на основния работен орган на машината - броят обороти на роторното колело, който се изчислява от каталожните данни за броя изсипани кофи в минута $n_B = 30$ кофи / мин

$$n_{BW} = \frac{n_B}{z_k} = \frac{30}{7} = 4.28 \text{ min}^{-1} \quad (14)$$

а за модифицирания вариант с 36 разтоварвания за минута скоростта на роторното колело е:

$$n_{BW} = \frac{n_B}{z_k} = \frac{36}{7} = 5.14 \text{ min}^{-1} \quad (14)$$

при брой кофи, монтирани на роторното колело $z_k = 7$ броя. Оттук ресурсният брой цикли може да бъде оценен като:

$$N_{res} = W_h \cdot n_B \cdot 60 = 31\,400 \cdot 30 \cdot 60 = 236.5 \cdot 10^6 \text{ mln cycles} \quad (15)$$

При тази постановка остатъчния ресурс на багера може да пресметне като:

$$R_{YR} = W_h - W_{tSum}, \text{ h} \quad (16)$$

а коефициентът на остатъчен ресурс на багера е:

$$k_{R_{YR}} = \left(1 - \frac{W_{tSum}}{W_h}\right) \cdot 100, \quad \% \quad (17)$$

и остатъчният ресурс на багера в години:

$$R_{YRA} = \frac{W_h - W_{tSum}}{R_{Ah}} = \frac{W_h - W_{tSum}}{4380}, \text{ у (години)} \quad (18)$$

Ако разгледаме примера от малко по горе, по данни за чисто работно време за $E_{TW} = 38$ у (години), багерът е работил $W_{tSum} = 128\,033 \text{ h}$, което дава часови ресурс от:

$$R_{YR} = W_h - W_{tSum} = 131\,400 - 128\,033 = 3\,367 \text{ h}, \text{ или}$$

остатъчен коефициент:

$$k_{R_{YR}} = \left(1 - \frac{W_{tSum}}{W_h}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{128\,033}{131\,400}\right) \cdot 100 = 2.56 \quad \%$$

и остатъчният ресурс на багера в години

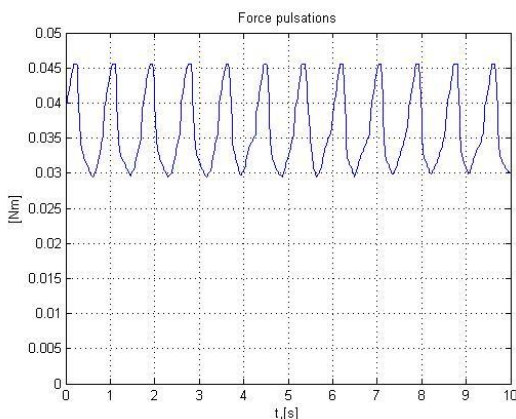
$$R_{YRA} = \frac{W_h - W_{tSum}}{R_{Ah}} = \frac{131\,400 - 128\,033}{4380} = 0.77 \text{ у (години)}$$

Натоварванията и съответстващите им напрежения в металната конструкция на багера могат да се разделят на няколко категории:

- статично натоварване - натоварване от собственото тегло на конструктивните елементи, масата на горно строене с прикачени към него тегла на мачта, балансова стрела и разтоварна стрела 1000t;

- натоварване от въздействието на теглото на материала, сумарната максимална маса на материала, намиращ се върху багера в процеса на работа е около 15t, което като процентно съотношение дава ~ 1% от теглото на горно строене с прилежащите му възли. За последващи разглеждания този може да се пренебрегне;

- натоварване от динамични процеси - преминаване през неравности, спиране и потегляне на хода, спиране и потегляне на въртенето, като най-голям процент в тази група може да се отдели динамичната сила на копане, достигаща максимална стойност около 405kN, като примерни пулсации (Дичев, 2006) в силата са показани на фиг. 2;



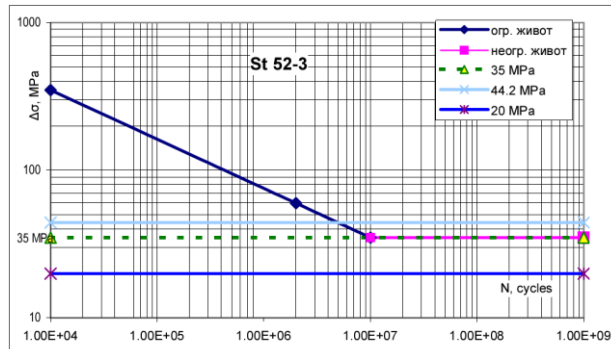
Фиг. 2. Теоретична диаграма на изменението на силата на копане в относителни единици.

- натоварване от атмосферни влияния - дъжд, сняг, вятър; тези натоварвания имат стохастичен характер и няма утвърдена методика за отчитането им. При пресмятане на ветровото натоварване за вертикалните профили на мачтата се отчита, че двете направления (спрямо посоката на вятъра) на профила дават разлика в натоварването 37,5%. Подобно пресмятане показва, че при аварийна скорост на вятъра от 36m/s претоварването в конструкцията е 362%.

Разделянето на ресурса или живота на определена конструкция има теоретична постановка в разглеждането на ефекта на умората на материалите върху състоянието на основните носещи елементи от конструкцията. Като се има в предвид, че умората на материалите или свързването на напрежения, брой цикли, размах на напреженията, коефициент на концентрация на напрежения и коефициент на интензивност на напреженията изисква постановка, в която се проследява всеки цикъл на натоварване или поне няколко представителни извадки от такива - т.е. ресурса и надеждността на елемента или конструкцията се определят от явления съизмерими с части от секундата. При този конструктивен аспект елементите на багерите SRs 2000 са изпълнени от конструкционна стомана St 52-3 (1.0570) DIN 17100 с аналогично означение по EN S355J2G3, чиито параметри са както следва:

$\sigma_{ut} = 510 \text{ MPa}$ разрушаващо напрежение;
 $\sigma_{Yt} = 350 \text{ MPa}$ граница на пропорционалност по напрежение.

Според съвременните изисквания за заварени конструкции уморната крива - фиг. 1 (крива на Вюлер, S-N крива) на горепосочения материал се построява със степенен показател $m=3$ (заварена конструкция, нормално изпълнение, нисък брой цикли, ниска интензивност на циклите) за участъка, дефиниращ ограничен живот на конструкцията ($N_2 < 10^7 \text{ cycles}$), и константна граница на напреженията - за участъка на неограничен живот на конструкцията ($N > 10^7 \text{ cycles}$). Абсцисата на кривата дефинира размах на напреженията, ордината - броя цикли, а границата на неограничения живот се получава 35MPa.



Фиг. 3. Уморна крива за стомана St 52-3 използвана в заварени конструкции нормално изпълнение.

Таблица 1.

Примерно ресурсно изчисление.

1	W_{tSum}	128033	h		N_2	4.61E+08	сус
2	σ_{st}	140	MPa		SRs 2000		
роторно колело				σ'_m	σ'_m		
3	$\Delta\sigma_m$	20	MPa	%	MPa	N_{2i}	n_i/N_{2i}
4	n_{BW}	3600.0	сус/ч	1	20.2	1.00E+09	0.46
5	n_{BW}	3600.0	сус/ч	20	24.0	1.00E+09	0.46
6	n_{BW}	3600.0	сус/ч	30	26.0	1.00E+09	0.46
						sum	1.38
въртене на горен строеж							
7	$\Delta\sigma_m$	34	MPa				
8	n_{BWB}	5.95	сус/ч	1	34.3	1.00E+09	0.00
9	n_{BWB}	5.95	сус/ч	10	37.4	8.20E+06	0.09
10	n_{BWB}	5.95	сус/ч	30	44.2	4.97E+06	0.15
						sum	1.63
11	σ_{sum}	194	MPa	k_d	1.39	v_d	1.80
12	σ_{sum_max}	210.2	MPa	k_d	1.50	v_{d_max}	1.67

където:

- $\Delta\sigma_m, \text{MPa}$ - размах на напрежение за цикъла;
- $\sigma'_m, \%$ - процентно претоварване по размах на напр.;
- σ'_m, MPa - относителна стойност на претоварването по размах на напреженията;
- $N_{2i}, \text{сус}$ - гранична стойност на броя цикли за "i"-то въздействие;
- $n_i = W_{ik} \cdot n_k, \text{сус}$ - натрупан брой цикли за "i"-то въздействие;
- σ_{st}, MPa - големина на статичното напрежение;
- $\sigma_{sum} = \sigma_{st} + \sum_k \Delta\sigma_{mk}, \text{MPa}$ - сума на статичното напрежение и динамичните напрежения;
- $\sigma_{sum_max} = \sigma_{st} + \sum_k \Delta\sigma_{mk}, \text{MPa}$ - сума на статичното напрежение и динамичните напрежения по максималните стойности;
- $k_d = \sigma_{sum} / \sigma_{st}$ - коефициент на динамичност по напрежения;
- $v_d = \sigma_{Yt} / \sigma_{sum}$ - коефициент на сигурност по напрежения;

За да се оцени въздействието на напрежения с различен размах при различен брой цикли, се използва правилото на Майнер са сумиране на циклите на натоварване:

$$\sum_i \frac{n_i}{N_{2i}} < 1 \quad (19)$$

Това правило сравнява броя цикли при определен размах на напреженията с границата на броя цикли при този размах. Удобно е да се състави таблица за консуматори на ресурс от основните натоварвания според съответните им въздействия, както е показано в табл. 1.

Изводи

1. Представена е методика за анализ на конструкцията на багера под въздействие на динамични процеси.
2. Изследвани са въздействия при примерно претоварване до 30% за две от основните въздействия предизвикани при работа на багера.
3. Създадената методика е приложена за преизчисляване на остатъчния ресурс на реален багер.

Представената методика и съпътстващите изчисления са извадка от сложна изчислителна методика, която се разделя в три аспекта - теоретичен, експериментален и теоретико-експериментален. Теоретичният аспект залага всички процеси с тяхното теоретично описание и по възможност отчита влиянието им. За съжаление, при работа багерите срещат напълно случайно твърди включения, ветрови натоварвания, леки пропадания в забоя и т.н., които не е възможно да се отчетат в теоретичен аспект. Експерименталният аспект изисква инсталиране на измервателна и записваща система за въздействията и последващата им обработка. Негатив в този случай е изборът на точки за измерване и запис - като е невъзможно във всички опасни зони и точки в багерната конструкция да бъдат инсталирани такива. Теоретико-експерименталният аспект изисква построяването на модели на влияние, разкриване на опасните зони и инсталиране на измервателни и записващи системи, запис на представителни извадки, оценка на представителните извадки за въздействията и създаване на методика за наслагването им.

Най-добри резултати биха се постигнали от съчетаване на трите аспекта и последователна във времето работа и развитие на комплексна система за оценка и анализ на надеждността на конструкциите, като положителен пример цитираните (Bošnjak 2015, Gottvald 2011, Bošnjak

2009, Arsic 2011) разглеждат багерните конструкции и в трите аспекта.

Със съвременни средства могат да се създадат измервателни и записващи системи с модул за оценка и анализ на записаните данни, които да се инсталират в промишлени условия, като основната идея е възможността за запис и анализ на натрупванията на въздействия, които във миналото бяха отчитани само като стохастичен процент или чрез увеличаване на коефициента на сигурност. Основното предимство на такъв тип система, въпреки сложността ѝ, е че по същество това е активна система за оценка на надеждността на системата.

Литература

- (Bošnjak 2015) Srdan M. BOŠNJAK, Nebojša B. GNJATOVIĆ, Sreten D. SAVIČEVIĆ, Milorad P. PANTELIC, Ivan LJ. MILENOVIĆ, Basic parameters of the static stability, loads and strength of the vital parts of a bucket wheel excavator's slewing superstructure, Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering), ISSN 1673-565X (Print); ISSN 1862-1775 (Online);
- (Gottvald 2011) Jakub GOTTVALD, Measuring and Comparison of Natural Frequencies of Bucket Wheel Excavators SchRs 1320 and K 2000, Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine ISBN: 978-1-61804-022-0, 2011;
- (Bošnjak 2009) Srdan Bošnjak, Zoran Petkovic, Nenad Zmic, Goran Simic, Aleksandar Simonovic, Cracks, repair and reconstruction of bucket wheel excavator slewing platform, Engineering Failure Analysis 16 (2009) 1631–1642;
- (Arsic 2011) Miodrag Arsic, Srdan Bošnjak, Nenad Zmic, Aleksandar Sedmak, Nebojša Gnjatovic, Bucket wheel failure caused by residual stresses in welded joints, Engineering Failure Analysis 18 (2011) 700–712, 2011;
- (Дичев 2006) Дичев Н., Петко Недялков, Компютърно изследване на динамичното натоварване на механичната система на роторен багер тип SchRs – 2000, стр.89-93, Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, Том 49, Св.III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2006;
- (Павлов 2014) Павлов П. и др., Отчет по договор № И - 167 на НИС при МГУ, 2014;
- (Кинов 2004) Кинов Ан. и др., Отчет по договор №1836/2004 на НИС при МГУ, 2004.

Статията е препоръчана за публикуване от кат. „Механизация на мините“