

## ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА МЕСТИМИТЕ РЕЛСОВИ ПЪТИЩА ВЪРХУ ОСНОВНИТЕ ТЕХНОЛОГИЧНИ ПАРАМЕТРИ В ОТКРИТИЯ ДОБИВ ПРИ СЪВМЕСТНА РАБОТА СЪС МНОГОКОФОВИ БАГЕРИ.

Паулин Златанов.

Атанас Смилянков.

Филип Кузманов.

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

Минно-геоложки университет  
"Св. Иван Рилски"  
София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

Анализирани са недостатъците на сега прилаганите формулни зависимости при оценка на влиянието на местимите пътища върху основните технологични параметри. Предложен е вероятностен подход за изследване на това влияние и са разработени основи на формулен апарат, позволяващ количествената му оценка.

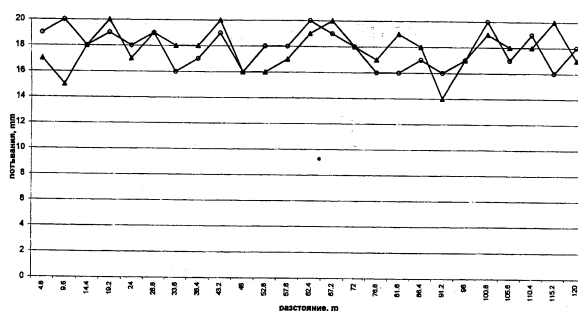
### ВЪВЕДЕНИЕ.

Ако се използват сега прилаганите в технологичните дисциплини формули, за да се изследва влиянието на местимите релсови пътища върху основни параметри на транспортния процес и откритите минни изработки при съвместна работа на железопътния транспорт с многокофови багери не могат да се избегнат следните недостатъци:

- Невъзможност да се отчете недетерминирания характер на описваните с този формулен апарат процеси;
- Неотчитане на вероятностния характер на скоростта на движение на влаковете въобще и в частност – по местимите релсови пътища;
- Невъзможност за стохастическо обвързване на системата багер – влак + железен път - единна технологична структура (а тя работи така) и пр.

От друга страна техническото състояние на местимите релсови пътища зависи от действителното отклонение на релсовите нишки от положението, определено с проекта. Факторите, които влияят на величината на това отклонение са много. Най-същественото влияещите могат да се групират така:

- Видими и скрити пропадания във вертикалната равнина. Води до разкалване на баластовото легло непосредствено в и около зоната на скритите пропадания, разбиване на пътя в зоната на наставите (джойнтовите връзки), разхлабване и счупване на скрепителните връзки между релсите и траверсите и пр. Фиг. 1 дава резултатите от измерени скрити пропадания във вертикална равнина на забоеен багер RS-200 в рудник "Трояново" и отразява резултати от изследване под ръководството на проф. Д. Стоянов в същия рудник през месец октомври 1997 г.



Фигура 1. Графика на скритите пропадания на релсовите нишки в района на роторен багер RS-2000

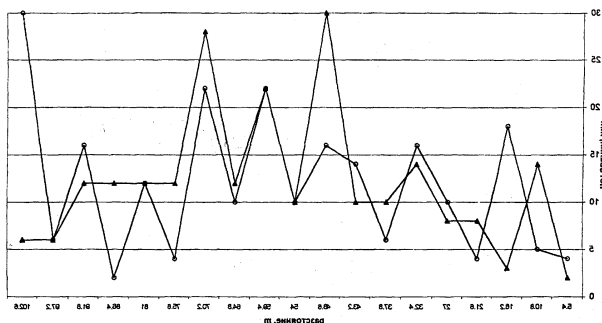
- Видими и скрити деформации в хоризонталната равнина. Водят до нарушаване на междурелсието (над 1435 mm), разхлабвания и счупвания на скрепителните връзки между релсите и траверсите, интензифициране на страничното износване на релсите, отклонение на оста на пътя (разрушаване) и др. Тези отклонения от проектното положение снижават надеждността на пътя и изискват намаление на скоростите на влаковете;

Фиг. 2 илюстрира видимите деформации в хоризонталната равнина. Замерени са също през м октомври 1997 г. от колектив под ръководството на същия проф. Д. Стоянов в района на абзетцер AS 1600 (инвентарен No3) в криволинеен участък на външно насипище към рудник "Трояново-север" [2].

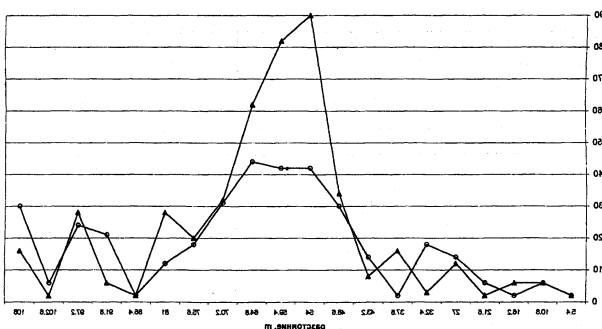
- Усукване на пътя спрямо оста му. Получава се в резултат на неравномерното пропадане (видимо и скрито) на двете релсови нишки едновременно в едно и също сечение на пътя, т.е., на една и съща траверса или в едно и също междутраверсие.

Фиг. 3 илюстрира скрити пропадания в района на същия абзетцер AS 1600 (инв. No 3) в праволинеен участък

непосредствено преди приемната яма. Измерени са от същия колектив по същото време [2]. Скрытите пропадания са мерени през разстояния, съответстващи на разстоянията между колоосите на думпкарите. Ясно се очертава усукването на пътя в средата на графиката, обхващащо четири интервала (пет замервания).



Фигура 2. Графика на видимите деформации на релсовите нишки в хоризонтална равнина в района на абзетцер AS-1600, No3.



Фигура 3. Графика на скрытите пропадания на релсовите нишки в района на абзетцер AS-1600, No3.

Комбинацията от първите два вида деформации с усукването е най-често в основата на дерейлиранията на железопътните возила, т.е. на откази на местимите пътища.

От трета страна фактическото техническо състояние на местимите релсови пътища лимитира скоростите на движение на влаковете по тях. С други думи скоростта е синтетичен фактор, в който резултатират всички отклонения (неизправности) от проектното положение на пътя. В смисъл характеристиките на тези линии в план и профил допускат скорости до 45 km/h (по разработката на Ат. Смилянков "Отраслови нормали за преместване, поддържане и ремонт на местимите релсови пътища" [3]), но на практика те се ограничават както следва:

- в "Мини Марица изток: ЕАД – до 25 km/h;
- в останалите у нас рудници с жп транспорт – до 8 km/h в посока "пълно" и до 12 km/h в посока "празно".

По долу са развити съображения, които поставят функционалното обвързване на техническото състояние на местимите пътища (изразено чрез скоростта по тях) с основните технологични параметри при съвместна работа на жп транспорт с многокофови багери на основа на вероятностния подход с което се преодоляват недостатъците, изложени в началото на въведението.

## II ОСНОВНИ ПРЕДПОСТАВКИ.

Направените по-долу разсъждения са за съвместната работа на роторен багер с железопътен транспорт, но лесно се разпространяват и върху съвместната работа на жп транспорта с абзетцер. Предполага се, че са в сила следните основни предпоставки:

### Първо:

Приоритетно значение има осигуряване на изпълнението на производствената задача за година от системата багер – влак + железен път, защото осигурява непрекъснатост на работата на багера, водещо до реализация на производствената задача.

### Второ:

И системата багер, и системата влак + железен път се отнасят към човекомашинните системи, характеризиращи се с голяма степен на неопределеност.

При системата багер производителността се лимитира от множество фактори (конструктивни, минно-технологични, климатични, организационни и пр.), като връзката между тях е съществено различна. Например, връзката между производителността и конструктивните фактори е функционална, а с другите е стохастична.

Багеристът като звено от човекомашинната система работи по размит алгоритъм. Смисълът на размитостта е в това, че той сам избира стратегията на действията си, която в повечето случаи не съвпада с предварително зададената инструкция.

При системата влак + железен път производителността също се лимитира от множество фактори – конструктивни, минно-технологични, организационни и пр., като връзката също е различна. Функционална е само между обема на коша на вагоните и техния брой във влака. Връзката с останалите фактори също е стохастична.

Машинистът е също звено от човекомашинна система и също работи по размит алгоритъм. Например, воден от усещането си за техническото състояние на пътя, вагоните и локомотивите той променя скоростта в широки граници.

### Трето:

За оценка на ефективността на функциониране на технологичната структура багер – влак + железен път е целесъобразно да се третира като транспортно – поточна система. Това е допустимо, ако времето по реализация на маршрута на влака, изчислявано в технологичните разчети по (1)

$$t_k = t_m + t_{mn} + t_{nn} + t_p + t_{мех.н} + t_{оп.з} \quad (1)$$

се третира като своеобразен отказ от системата. От формална гледна точка такъв изход е допустим, защото ако багерът се обслужва само от една композиция, то за времето за пълния курс на влака багерът не работи, т.е., подсистемата багер не работи, все едно се намира в отказ.

$t_t$  - времето за натоварване на влака, h;

$t_{mn}$  – времето за движение на влака (пълнен и празен) по местимите релсови пътища в рудника и насипището и за всеки конкретен маршрут е:

$$t_{mn} = I_{mn}^3 \sum_{j=1}^m \frac{1}{V_{mn,n}^3} + \frac{1}{V_{mn,np}^3} \sum_{j=1}^m \frac{1}{V_{mn,n}^3} + I_{mn}^H \sum_{j=1}^m \frac{1}{V_{mn,n}^H} + \frac{1}{V_{mn,np}^H} \sum_{j=1}^m \frac{1}{V_{mn,n}^H} \quad (2)$$

като:  $I_{mn}^3$  и  $I_{mn}^H$  са дължините на местимите пътища в забой и в насипище;

$V_{mn,n}^3$ ,  $V_{mn,np}^3$ ,  $V_{mn,n}^H$  и  $V_{mn,np}^H$  са скоростите на движение по тези отсечки на пълен и празен влак и са съобразени с [3].  
 $t_{np}$  – времето за движението на натоварения влак по постоянните пътища по конкретния маршрут след забоя до насипището. То е по израза:

$$t_{np} = e \sum_{j=1}^m \frac{I_j}{V_n} + \frac{I_j}{V_{np}} + 0,025 \sum_{j=1}^m \frac{1}{V_n} \quad (3)$$

като:  $\sum I_j$  е сумарната дължина на постоянните релсови пътища от маршрута;

$V_n$  и  $V_{np}$  - скоростите на движение на пълния и празния влак;

0,025 – коефициент, отчитащ времето необходимо за свързки при СЦБ.

$t_p$  - времето за разтоварване в приемния пункт на бункера (ТЕЦ, ОФ, Брикетна фабрика) или приемна яма. Зависи от изправността на компресорите, въздухопроводите и пневматичните разтоварни системи. Относително постоянно за влак с постоянен брой вагони и локомотиви и е по израза:

$$t_{pe} = n \cdot t_p \cdot h \quad (4)$$

като  $t_p$  е времето за разтоварване на един вагон,  $h$  (през летен сезон: 1,5-2 min, през зимен: 3 min).

$t_{тех.п}$  е времето за неизбежни технологични престои и зависи от маршрута, коловозното развитие, инсталациите и изправността им за отваряне/затваряне на стрелките, вида на коловозните транспортни схеми.  $t_{др.з}$  обхваща времето за други задръжки от всякакво естество. С най-голям дял са времената за отстраняване на откази по релсов път, возилата и др.

### III ПРОЕКТ ЗА КОНСТРУКЦИЯ НА ВЕРОЯТНОСТНИЯ ПОДХОД ЗА ОЦЕНКА

Въведените основни предпоставки позволяват да се използва формулен апарат, развит в теорията на надеждността и адаптиран за големи инженерни системи, каквито са откритите рудници ([4], [5], [6], [7] и др.), състоящи се от взаимно обвързани самостоятелни инженерни подсистеми. Точно така може да бъде третирана системата багер – влак + железен път.

Ползваният по-долу формулен апарат се отнася за продължителен период от време, например година. Като се отчита, че техническата производителност на багера е променлива величина (вж. част II), то годишната производителност се изразява с (5).

$$Q_{год} = e \sum_{i=1}^n Q_{техн.(i)} \cdot t_{p(i)}, m^3 / a \quad (5)$$

където:

$Q_{год}$  - годишна производителност на багера, зададена планово;

$Q_{техн.(i)}$  - техническа производителност на багера, съответстваща на  $i^{mo}$  му работно състояние. То е функция на множество фактори, описани в част II.

$n$  - броят на възможните състояния, в които багерът се намира през календарната година, характеризиращи се със съответната производителност;

$t_p(i)$  - сумарна продължителност на работното време при  $i^{mo}$  състояние на обекта през календарната година.

По същество времената  $t_p(i)$  представляват някаква част или процент от общия годишен фонд работно време на багера, т.е.  $t_p(i) = t_p \cdot n\%$  или

$$t_{p(i)} = t_p \cdot P_{\checkmark} \cdot t_{p(i)} \frac{\checkmark}{\checkmark} \quad (6)$$

В (6)  $P_{\checkmark} \cdot t_{p(i)} \frac{\checkmark}{\checkmark}$  е вероятността в даден момент багерът да се намира в  $i^{mo}$  състояние на производителност.

Тогава уравнение (5) може да се представи така:

$$Q_{год} = t_p \cdot e \sum_{i=1}^n Q_{техн.(i)} \cdot P_{\checkmark} \cdot t_{p(i)} \frac{\checkmark}{\checkmark}, m^3 / a \quad (7)$$

Според [4], [5], [6], [7] и др. разпределението на календарния фонд на времето през дадена година, през което роторният багер работи като технологично обединена подсистема багер – влак + железен път се структурира от три съставки:

$t_p \cdot h$  – сумарното време за непрекъсната работа на системата през календарната година (чистото работно време);

$t_{об} \cdot h$  – време за технологично обслужване на системата. Състои се от:

$$t_{об} = t_{np} + t_{np.cm} + t_{np} \cdot h \quad (8)$$

Тези времена съответно са:

$t_{np.cm} \cdot h$  – за планово предупредителни ремонти;

$t_{np.cm} \cdot h$  – за приемане-предаване на смените. В рамките на едно денонощие е регламентирано 1h.;

$t_{np} \cdot h$  – време задължително за прегледи на отделни възли и агрегати;

$t_{е} \cdot h$  – време за възстановяване на системата от неработно в работно състояние. Състои се от:

$$t_{е} = t_{техн.нр.} + t_{орз.нр.} + t_{ав.нр.} + t_{др.з} \quad (9)$$

Тези времена съответно са:

$t_{техн.нр.} \cdot h$  – багерът работи, но не реализира обеми: преместване на нова позиция, изчаква влаковете, спомагателни операции без предупреждения и пр.

$t_{орз.нр.} h$  – престои по всевъзможни организационни причини;

$t_{ав.нр.} h$  – престои по време на отстраняване на аварии в подсистемата багер – влак + железен път;

$t_{оз.з.} h$  – времето, през което багерът не дава продукция по всякакви причини извън изредените: стачки, бедствия и др.;

В такъв случай за годишния календарен фонд на времето е в сила записът:

$$t_k = t_p + t_{об} + t_{с} h \quad (10)$$

където:  $t_k, t_p, t_{об}, t_{с}$  са съответно годишният календарен фонд, чистото работно време на подсистемата, времето за технологичното ѝ обслужване и времето за възстановяването ѝ.

Според цитираните вече източници всяка голяма система за продължителен период от време на работа се характеризира с коефициента си на готовност  $K_r$ .

$$K_r = \frac{t}{t_k - t_{об}} \quad (11)$$

където:

$t_p$  - чистото работно време на подсистемата багер - влак + железен път;

$t_{об}$  - времето за обслужване на подсистемата.

Времето за обслужване на подсистемата ( $t_{об}$ ) може да се представи чрез коефициента на обслужване:

$$K_{об} = \frac{t_k - t_{об}}{t_k} \quad (12)$$

чиито смисъл е мерило за времето, през което системата не се обслужва.

Коефициентите  $K_r$  и  $K_{об}$  позволяват годишният календарен фонд да се изрази така:

$$\frac{t_p}{K_r} = t_p + t_{с} \quad (13)$$

Когато се отчете, че от (12) може да се изрази  $t_{об}$  като:

$$t_{об} = t_k (1 - K_{об}) \quad (14)$$

Лесно се доказва, че между времената по (10) и коефициентите  $K_r$  и  $K_{об}$  е налице връзката:

$$t_p = t_k K_r K_{об} \quad (15)$$

В такъв случай за годишната производителност е в сила изразът:

$$Q_{год} = e \sum_{i=1}^n Q_{мехи(i)} t_{p(i)} t_k K_r K_{об} m^3 d \quad (16)$$

Изразите от (5) до (16) са в основата на математическите методи, изследващи технологичните особености на поточните системи

За разглеждания тук случай времето за движение на влака по маршрута му се третира като своеобразен отказ на системата. Или системата се превръща от циклична в поточна. Ако възможните състояния ( $l$ ) на багера се характеризират от " $n$ " масива с " $m$ " различни характеристики (твърдост, обемно тегло, кохезия, ъгъл на вътрешно триене и др.), то (16) притежава следния вид:

$$Q_{год} = t_k K_r \sum_{i=1}^n Q_{мехи(i)} m_1^{i-1} \% Q_{мехи(2)} m_2^{i-1} \% \dots Q_{мехи(n)} m_n^{i-1} m^3 d \quad (17)$$

От друга страна готовността за работа на технологична структура състояща се от последователно свързани системи (такава е третираната подсистема багер – влак + железен път) за достатъчно продължителен период от (например година) от време се изразява с коефициент на готовност на цялата система. Неговата структура е (по [4], [5] и др.) представена с (18).

$$K_z = \prod_{i=1}^n \frac{1}{K_{z(i)}} - (n-1) \prod_{i=1}^{n-1} \frac{1}{K_{z(i)}} \quad (18)$$

Видът на формулата (18) лесно се преобразува в (19)

$$K_z = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_{z(i)}}{K_{z(i)}}} \quad (19)$$

която е многократно по-удобна за работа. Защото в (19) всяка от последователно свързаните в единна технологична структура елементи на подсистемата багер – влак + железен път получава самостоятелно присъствие посредством собствените си коефициенти на готовност. Доказателството е развитието на знаменателя в изразите (20):

$$1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_{z(i)}}{K_{z(i)}} = 1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{K_{z(i)}} - 1 \right) = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{z(i)}} - \sum_{i=1}^n 1 = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{z(i)}} - n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{z(i)}} - (n-1) \quad (20)$$

Последният запис в (20) е напълно адекватен на знаменателя на (18).

В такъв случай за чистото работно време през годината на технологичната структура багер – влак + железен път е:

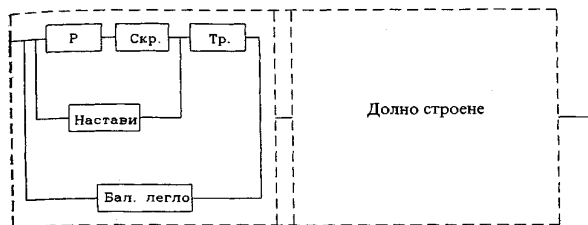
$$t_{pk} = t \cdot \frac{t_k K_{об} 1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_{z(i)}}{K_{z(i)}}} \quad (21)$$

Следователно основната задача на тази статия – да се обоснове възможността чрез апарата на вероятностния подход да се отрази влиянието на местимите релсови пътища върху технологичните параметри (примерът е с годишната производителност) е изпълнена.

#### IV АСПЕКТИ НА ОЦЕНКАТА НА ВЛИЯНИЕТО НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА МЕСТИМИТЕ РЕЛСОВИ ПЪТИЩА.

Авторите разработват тази идея отдавна. Въпреки това не са налице достатъчно голям брой изходни данни, които да дадат право на категорични заключения. Поради това по-долу е изложена същността на идеите си за оценка на техническото състояние и коефициента на готовност на релсовите пътища в конвенционалната железница на Русия. Причината е във високите стойности на годишното товаронапрежение на железопътната им мрежа, съпоставимо с това при големите стойности на товаронапрежението в "Мини Марица изток" ЕАД по местимите релсови пътища. Третията руска методика е възприета от Полша, Чехия, Унгария, Румъния и сегашните членки на ОНД.

Идеята е техническото състояние на релсовия път да се контролира и прогнозира и чрез нормите за разход на материали (релси, траверси, настави и пр.). Презумпцията е, че разходът на тези потребявани ресурси за текущо поддържане нараства със стареенето на пътя след предишното му подновяване (капитален ремонт) с течение на времето. Подходът се основава на теорията на надеждността и обвързва броя на отказите на всички елементи от горното строене с общото техническо състояние на пътя. Идеята е положена в [8], развивана в [9], [10], [11], [12] и др. Същността и е илюстрирана с фиг. 4. и се основава на различните принципи на натрупване на деформациите в двете среди - горно и долно строене, от там - различната им интензивност и различни норми на отказ.



Фигура 4. Илюстрация на обвързката на отказите на елементите на горното строене на железния път.

Доказано е ([10], [11] и др.), че с достатъчна за практиката точност, отказите във всички структурни елементи на горното строене се описват с функции от типа

$$A = B + C.T^t \quad (22)$$

където:

T - товаронапрежението;

t - степенен показател, отчитащ по нормите на амортизация срока на служба на отделните елементи;

B, C - емпирични коефициенти, получени по метода на най-малките квадрати след обработка на статистически данни за отказите.

Изключение прави само баластовото легло, където с A по (22) се характеризира нормата на замърсеност по обемно тегло.

Следва да се отбележи, че (22), отнесена към релси и настави, е с коефициент  $B = 0$ , което означава, че функцията започва от началото на координатната система. Свързано е още с по-високите изисквания към тях в сравнение с останалите елементи.

В [9], [10] и [11] отнасят нормативно нормата на отказа към фактичката и получават коефициента на надеждност на елементите на горното строене. Те всъщност изразяват вероятността системата да не даде отказ поради отказ на отделни нейни елементи, но не отиват по-нататък.

$$P_{жп}(t) = P_p(t) \cdot P_{скр}(t) \cdot P_n(t) \cdot P_{тр}(t) \cdot P_{\sigma}(t) \quad (23)$$

където:  $P_{жп}(t)$  - вероятността за отказ на конструкцията на горното строене и железния път;

$P_p(t)$ ,  $P_{скр}(t)$ ,  $P_n(t)$ ,  $P_{тр}(t)$ ,  $P_{\sigma}(t)$  - съответно вероятностите от отказ на релсите, скрепленията, наставите, траверсите и баласта.

Следва да се подчертае, че тази страна на проблема не е разработена. Причината е в изключително голямата отговорност, свързана с математическата формализация на вероятния отказ в железния път. Но всички автори са единодушни, че сега съществуващата конструкция на горното строене е с висока степен на надеждност и че всяко следващо нейно изменение следва да я повишава, без да я оскъпява - [10], [11] и др., като доближава надеждността до единица, а рискът от отказ - до нула.

Също така досега не са известни решения, водещи до количествени характеристики при определяне на надеждността на долното строене на железния път.

В смисъла и на изложеното по-горе, и на развитата възможност за оценка на техническото състояние на системата багер - влак + железен път по (19), и в частност на местимите пътища при съвместна работа на жп транспорт с многокофови багери - по (21), авторите, ползвайки и формули (11) и (12), са извадили представително число данни от диспечерските дневници на рудници "Трояново" и "Трояново север".

Обработката се извършва по методите на статистическото моделиране и идеята му е да се получи предварителна информация за параметрите на двата коефициента за всеки елемент на подсистемата багер - влак + железен път и да се получи реалната стойност на чистото работно време по (21).

Резултатите ще покажат значимостта на развиваната идея.

#### IV ИЗВОДИ

1. Доказана е възможността влиянието на техническото състояние на местимите релсови пътища върху основните технологични параметри на открития добив да се изразява посредством подход, основан на вероятностни методи. Това би дало в бъдеще възможности за по-реално планиране на технически достижимия календарен фонд работно време на основната минна механизация - многокофовите

багери и да се повиши степента на пълноценното им използване.

2. Развитите идеи по-лесно биха се възприели от практиката на технологията, ако авторите я сблизят още повече със станалата вече класическа диференциация на работното време на минната механизация. Това означава "изчистване" от гледна точка на технологията на изрази (8) и (9) и поява поне на още един член в (10), а от тук – и още един коефициент със структура като тези по (11) и (12).

#### ЛИТЕРАТУРА:

Стоянов Д. и др., 1998. Превантивен контрол и ремонтно-възстановителни работи на местимите релсови пътища в открития рудник "Трояново" към "Мини Марица изток" ЕАД. – Договор 1633/1998 при НИС на МГУ. Архив на НИС при МГУ.

Стоянов Д., и др., 2000. Превантивен контрол и ремонтно-възстановителни работи по местимите релсови пътища в открития рудник "Трояново север" към "Мини Марица изток" ЕАД. – Договор 1683/2000 при НИС на МГУ. Архив на НИС при МГУ.

Смилянков А., и др., 1998. Отраслови нормали за преместване, поддържане и ремонт на местимите релсови пътища в рудник "Кремиковци". Договор 1201/1998 при НИС на МГУ. Архив на НИС при МГУ.

Гарузищ В., и др. 1981 Автоматизация горного производство на откритых и подземных работ. – Ленинград, Недра.

Иринков С., 1986. Автоматизация на технологичните процеси в откритите рудници. - София, Техника.

Вучков И., и др. 1986. Математическо моделиране и оптимизация на технологичните обекти. – София, Техника.

Лалов И., 1996. Изследване на техническите основи на управление и усъвършенстване на системите на управлението и усъвършенстване на системите на управлението на процесите на изземване и транспортиране на минна маса с роторни багери и гуменолентов транспорт. – София, Библиотека на МГУ, Докторска дисертация и автореферат за присъждане на научна степен "доктор на техническите науки".

Цукалов П., 1967. Предложения по уллучшению планирования и использования рельсового фонда страны. Москва, Труды ЦНИИ, Вып. 334, Транспорт.

Шендрев А. и др., 1976 Надежность и производительность комплексов горно-транспортного оборудования. Москва, Недра.

Шульга В. и др., 1976. Путь и безопасности движения поездов. Москва, Транспорт.

Шульга В. и др., 1975. Эксплуатационный выход рельсов и скрепления типа КБ и шпал типа С-56-2. Москва, Труды МИИТ, Вып. 505.

Шульга В. и др., 1975. Эксплуатационный выход скрепления типа КБ на бесстыковом пути с железобетонными шпалами. Москва, Труды МИИТ, Вып. 505.

Шульга В., 1977. Выход рельсов и шпалам из строя в кривых участках пути и меры по его снижению. Москва, Труды МИИТ, Вып. 556.

Шульга В., 1975. Эксплуатационный выход рельсов на бесстыкового пути с железобетонными шпалами. Москва, Труды МИИТ, Вып. 505.

Шульга В. и др., 1975. Влияние прокладок повышенной прочности на эксплуатационный выход еленентов бесстыкового пути с железобетонными шпалами. Москва, Труды МИИТ, Вып. 505.