

## **ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОРМАТИВНА ПРОДЪЛЖИТЕЛНОСТ НА АВАРИЙНО ПРЕКЪСВАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА БАЗА ОПТИМИЗАЦИЯ НА РАЗХОДИТЕ**

**Тодор Размов, Теодор Кирчев**  
[t.razmov@gmail.com](mailto:t.razmov@gmail.com), [tkirchev@vtu.bg](mailto:tkirchev@vtu.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,  
ул. “Гео Милев“ № 158, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** *безопасност, оперативно управление, прекъсване на движението, оптимизационни методи, нормализация на движението*

**Резюме:** *Определена е нормативната продължителност на аварийно прекъсване на движението на база оптимизация на общите разходи. За целта е разработена и представена методика. Общите разходи се състоят от две компоненти: разходи за отстраняване на последиците от настъпило произшествие и допълнителни експлоатационни разходи. Разходите за отстраняване на последиците от произшествието зависят от времето за реализация на прекъсването. Вида на теоретичната крива има хиперболична форма, а конкретният ѝ аналитичен вид се получава на база статистически данни. Допълнителните експлоатационни разходи зависят от закъсненията на влаковете, породени от прекъсването и се състоят от две компоненти. Едната компонента включва разходите от закъснения, свързани със задържане на влаковете за времето на реализация на прекъсването, а втората компонента включва разходите от закъснения за периода на нормализация на движението. Тези разходи се описват чрез функция от втора степен спрямо продължителността на прекъсването. В методиката са отчетени конкретните експлоатационни условия: съществуващ капацитет и интензивност на влаковото движение. Изведени са зависимости за определяне на оптималната продължителност на прекъсването на движението и съответните минимални общи разходи и разходите по компоненти в зависимост от относителната заетост на дадено междугарие. Относителната заетост е определена на база съществуващия капацитет и интензивност на движението определена от действащия график за движение на влаковете. Така получената оптимална продължителност се приема за нормативна и е бенчмарк за службите по поддържането и управление на движението.*

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

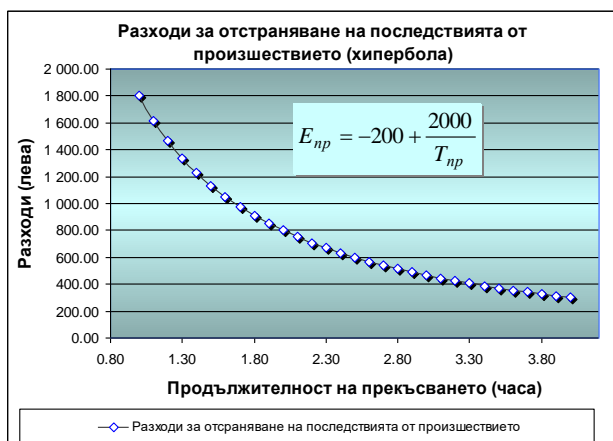
Аварийните прекъсвания на движението се предизвикват от произшествия, които имат различни причини. Произшествията нанасят определени щети върху железопътната инфраструктура и подвижния железопътен състав. Също така те влияят негативно върху експлоатационната дейност, като водят до задържане и закъснения на влаковете. Отстраняването на последиците от произшествията върху железопътната

инфраструктура изискват определени разходи. Закъсненията на влаковете предизвикани от прекъсването и последващата нормализация на движението водят до допълнителни експлоатационни разходи. Разходите, както за отстраняване на последиците от произшествието, така и допълнителните експлоатационни разходи зависят от продължителността на прекъсването. Може да се определи нормативна продължителност на аварийното прекъсване на базата на минимизиране на общите разходи. Нормативната продължителност на аварийните прекъсвания ще играе ролята на бенчмарк, към който трябва да се стремят оперативните работници при своята работа.

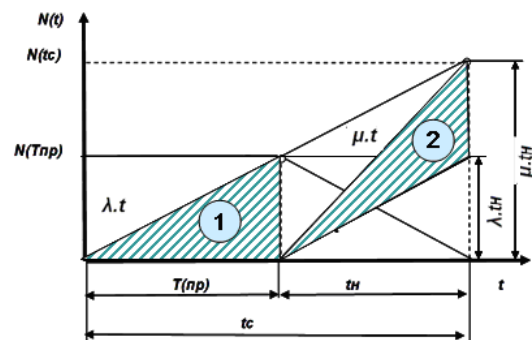
Общите разходи, които трябва да се минимизират се състоят от две компоненти: разходи за отстраняване на последиците от произшествието, причина за прекъсването, и допълнителни експлоатационни разходи, които са свързани предимно със разходите за задържане на влаковете за времето на прекъсването и разходите за реализация на закъснения на влаковете за времето за нормализация на движението.

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РАЗХОДИТЕ ЗА ОТСТРАНЯВАНЕ НА ПОСЛЕДИЦИТЕ ОТ ПРОИЗШЕСТВИЕТО ДОВЕЛО ДО РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРЕКЪСВАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО

Разходите за отстраняване на последиците от произшествието зависят от времето за реализация на прекъсването. При по-малка продължителност на прекъсването разходите са по-големи, а при по-голяма продължителност на прекъсването разходите са по-малки. Вида на теоретичната крива на разходите в зависимост от продължителността на прекъсването има хиперболична форма, видно от графиките за ремонтните разходи за 1 км при механизирано подновяване на железния път, получени в труд [1]. Съобразявайки се с това ще бъде използвана хиперболична функция на разходите (фиг.1).



Фиг.1 Разходи за отстраняване на последиците от произшествието в зависимост от продължителността му



Фиг.2 Определяне на закъсненията на влаковете в процеса на задържане и нормализация на движението

Функцията е тествана с реални разходи на базата на статистически данни, като са получени и съответните коефициенти  $b_0$  и  $b_1$ . Те имат вида:

$$(1) \quad E_{np} = b_0 + \frac{b_1}{T_{np}}; \quad E_{np} = -200 + \frac{2000}{T_{np}}, \text{ лева за прекъсване.}$$

Стойностите на коефициентите  $b_0$  и  $b_1$  могат да бъдат прецизирани при по-детайлно проучване и при достатъчно голям обем статистически данни за разходите. Трябва да се има предвид също, че функцията има смисъл само за релевантна област на

изменение на продължителността на прекъсването. Може да се приеме област за изменение на продължителността на прекъсването от 1 до 5 часа.

Приема се също, че разходите за отстраняване на последствията от възникване на произшествие не зависят или зависят незначително от железопътния трафик и капацитетните възможности на железопътната инфраструктура.

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ РАЗХОДИ ЗА ЗАДЪРЖАНЕ И ЗАКЪСНЕНИЕ НА ВЛАКОВЕТЕ ПРИ ПРЕКЪСВАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО

Експлоатационните разходи зависят от закъсненията на влаковете, породени от прекъсването и се състоят от две компоненти. Едната компонента включва разходите от закъснения, свързани със задържане на влаковете за времето на реализация на прекъсването [2, 3], а втората компонента включва разходите от закъснения за периода на нормализация на движението. Те зависят от общите влакочасове или влакоминути закъснение и от единичната цена на един влакочас или влакоминута закъснение. Теоретично общите влакочасове или влакоминути закъснение се определят от фиг.2. На базата на триъгълника 1 (фиг.2) се определят закъсненията в рамките на задържането на движението, а на базата на триъгълника 2 (фиг.2) се определят закъсненията на влаковете в рамките на времето за нормализация на движението.

Общите закъснения на влаковете в периода на задържането, определени във влакочасове или влакоминути, са  $Z_{зад} = \frac{\lambda T_{np}^2}{2}$ . Те са определени на базата на площта на триъгълник 1 от фиг.2. Броят на закъснените влакове за периода  $T_{np}$  е  $N_{cp}(T_{np}) = \lambda T_{np}$ , а средното време за закъснение на влакове е  $\frac{T_{np}}{2}$ .

Закъсненията в периода на възстановяване на движението се определят от лицето на триъгълника 2 на фиг.2 и са  $Z_{възст} = \frac{\mu t_n^2}{2} - \frac{\lambda t_n^2}{2} = \frac{(\mu - \lambda)t_n^2}{2}$ . Средният брой на влаковете, които се движат нормално по графика за движение на влаковете (ГДВ) и тези, които са в закъснение за периода  $t_n$  е  $N_{общо,cp}(t_n) = \frac{\mu t_n}{2}$ , като от тях средният брой на влаковете от ГДВ е  $N_{ГДВ}(t_n) = \frac{\lambda t_n}{2}$ , а средният брой на закъснените влакове е  $N_{зак}(t_n) = \frac{(\mu - \lambda)t_n}{2}$  (от общия среден брой влакове се вадят средния брой влакове заложили в ГДВ и се получават само средния брой на закъснените влакове). На базата на средния брой на влаковете и времето за нормализация на движението се получават общите закъснения на влаковете -  $Z_{възст} = \frac{(\mu - \lambda)t_n^2}{2}$ .

Общите закъснения на влаковете, които обхващат закъсненията през периода на задържане (реализация на прекъсването на движението) и периода на възстановяване на движението са:  $Z_{общо} = Z_{зад} + Z_{възст} = \frac{\lambda T_{np}^2}{2} + \frac{(\mu - \lambda)t_n^2}{2}$ .

Като се има предвид, че:  $t_n = \frac{\rho}{\beta_{рез}} T_{np}$ ;  $\beta_{рез} = 1 - \rho$ ;  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ;  $\frac{\mu - \lambda}{\mu} = \beta_{рез} = 1 - \rho$ ;

$1 + \frac{\rho}{\beta_{рез}} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{1}{\beta_{рез}}$  и след извеждане се получава:

$$(2) \quad Z_{общо} = \mu \rho \frac{T_{np}^2}{2} \frac{1}{\beta_{рез}} = \frac{\lambda}{2\beta_{рез}} T_{np}^2 = \frac{1}{2} \frac{\lambda \mu}{\mu - \lambda} T_{np}^2, \text{ влакочаса за прекъсване.}$$

След като имаме закъсненията на влаковете може да определим и разходите, свързани с тях, като използваме единични стойности на разходите за една минута или час закъснение. Тези разходи имат експлоатационен характер и имат следния вид:

$$(3) \quad E_{ек} = Z_{общо} c_{ек} = \frac{\lambda}{2 \beta_{рез}} T_{np}^2 c_{ек} = \frac{1}{2} \frac{\lambda \mu}{\mu - \lambda} T_{np}^2 c_{ек}, \text{ лева за прекъсване.}$$

Ако приемем  $\lambda = 2$  влака за час;  $\mu = 4$  влака за час и  $c_{ек} = 1$  лв. за мин. прекъсване, то функцията на допълнителните експлоатационни разходи приема вида:  

$$E_{ек} = \frac{1}{2} \frac{\lambda \mu}{\mu - \lambda} T_{np}^2 c_{ек} = 120 T_{np}^2.$$

### ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОБЩИТЕ РАЗХОДИ

Общите разходи при реализацията на прекъсване на движението на влаковете са следните:

$$(4) \quad E_{общо} = E_{np} + E_{ек}, \text{ лева на прекъсване или}$$

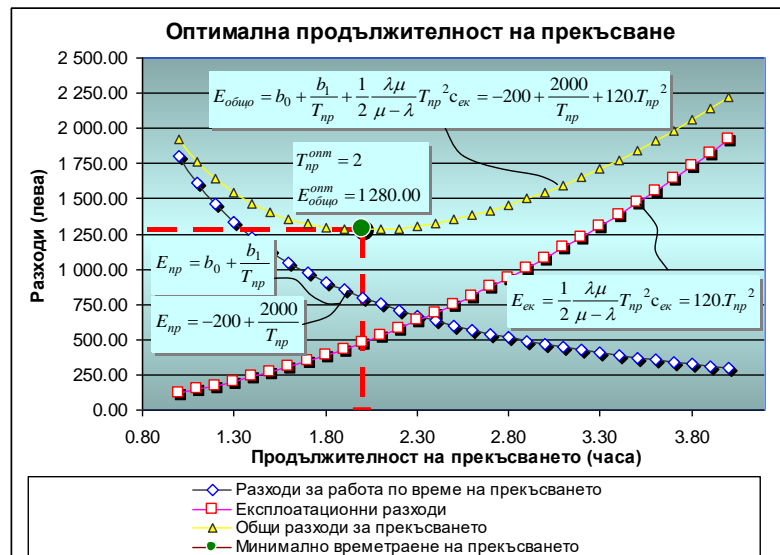
$$(5) \quad E_{общо} = b_0 + \frac{b_1}{T_{np}} + \frac{\lambda}{2 \beta_{рез}} T_{np}^2 c_{ек} = b_0 + \frac{b_1}{T_{np}} + \frac{1}{2} \frac{\lambda \mu}{\mu - \lambda} T_{np}^2 c_{ек}, \text{ лева за прекъсване при}$$

използване на хиперболична функция на разходите за отстраняване на последиците от произшествието.

Функцията на общите разходи за приетите в изследването конкретни данни придобива вида:  $E_{общо} = -200 + \frac{2000}{T_{np}} + 120 T_{np}^2$  за хиперболична функция на разходите за отстраняване на последиците от произшествието.

### ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОДЪЛЖИТЕЛНОСТТА НА ПРЕКЪСВАНЕТО НА ДВИЖЕНИЕТО

За да се получи оптималната продължителност на прекъсването на движението се използва функцията на общите разходи, представена по-горе.



Фиг. 3 Оптимална продължителност на прекъсване (хиперболична функция на разходите за отстраняване на последиците от произшествието)

Оптималната големина на прекъсването може да се получи като се намери първата производна на функцията на общите разходи (5) и се нулира [3]:

$$\frac{dE_{\text{общо}}}{dT_{\text{пр}}} = -\frac{b_1}{T_{\text{пр}}^2} + \frac{\lambda}{\beta_{\text{рез}}} T_{\text{пр}} c_{\text{ек}} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{dE_{\text{общо}}}{dT_{\text{пр}}} = -\frac{b_1}{T_{\text{пр}}^2} + \frac{\lambda\mu}{\mu - \lambda} T_{\text{пр}} c_{\text{ек}} = 0.$$

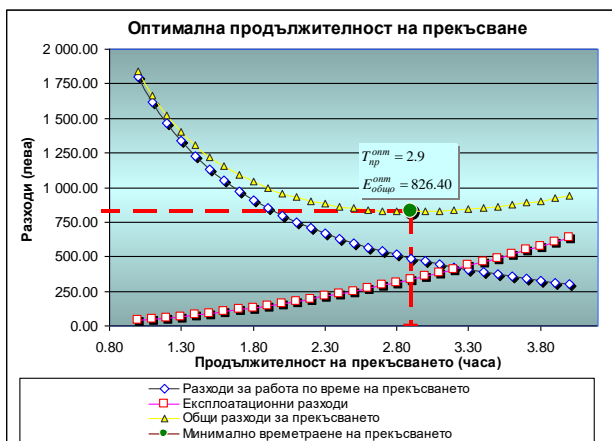
От тук се получава и оптималната продължителност на прекъсването:

$$(6) \quad T_{\text{пр}}^{\text{opt}} = \sqrt[3]{\frac{b_1}{c_{\text{ек}}} \frac{\beta_{\text{рез}}}{\lambda}}, \text{ часа за прекъсване или}$$

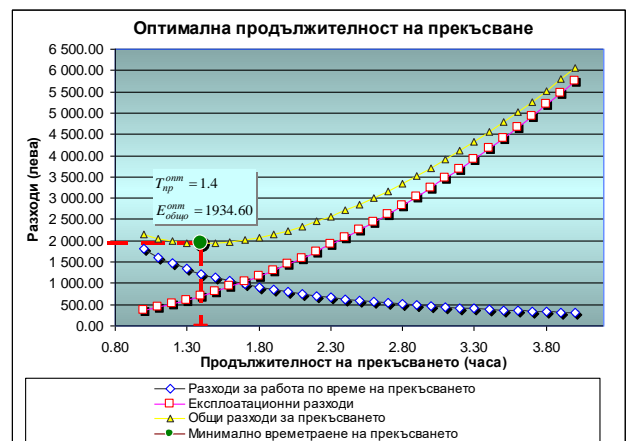
$$(7) \quad T_{\text{пр}}^{\text{opt}} = \sqrt[3]{\frac{b_1}{c_{\text{ек}}} \frac{\mu - \lambda}{\lambda\mu}}, \text{ часа за прекъсване.}$$

За приетите реални данни се получава  $T_{\text{пр}}^{\text{opt}} = 2$  часа, като разходите са  $E_{\text{общо}}^{\text{opt}} = 1280.00$  лв. (фиг.3).

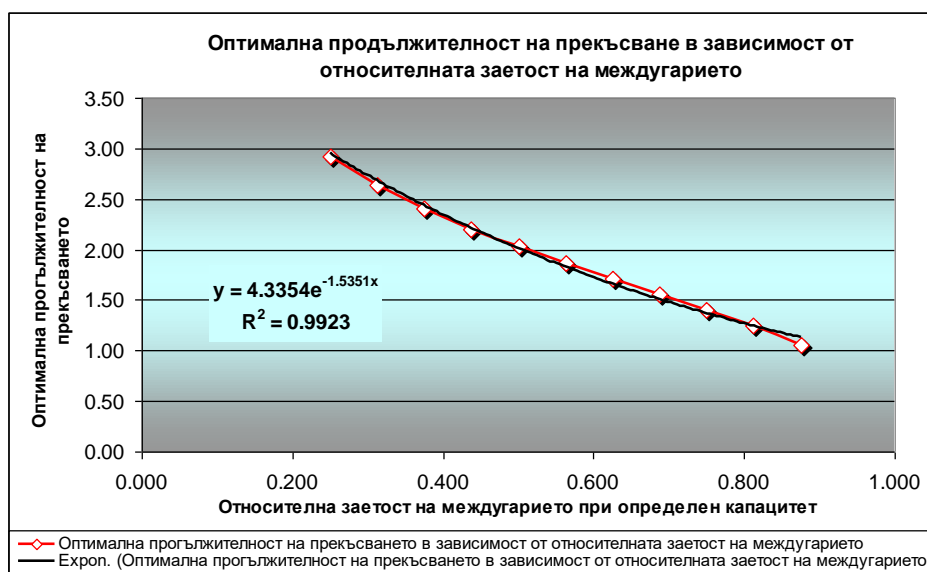
Изследвана е оптималната продължителност на прекъсването при определен капацитет на междугарието (интензивност на обслужването) и при различни стойности на относителната му заетост. Резултатите, при използване на хиперболична функция на разходите за отстраняване на последствията от произшествието, са показани на фиг.3 за капацитет 4 влака за час и интензивност на движението 2 влака за час и на фиг.4 и 5 за интензивности съответно 1 влак за час и 3 влака за час.



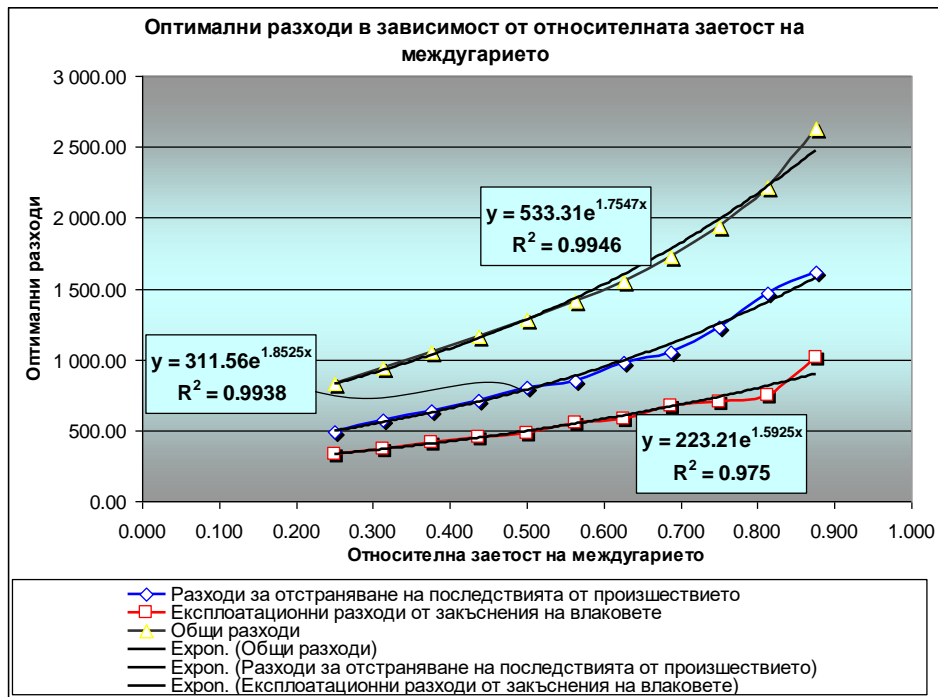
Фиг. 4 Оптимална продължителност на прекъсване при капацитет 4 влака за час и интензивност 1 влак за час



Фиг. 5 Оптимална продължителност на прекъсване при капацитет 4 влака за час и интензивност 3 влака за час



Фиг. 6 Оптимална продължителност на прекъсване в зависимост от относителната заетост на междугарието



**Фиг. 7** Оптимални разходи в зависимост от относителната заетост на междугарието

На фиг.6 е показана зависимостта на оптималната продължителност на прекъсването от относителната заетост на междугарието при определен капацитет (в случая 4 влака за час), а на фиг.7 са показани зависимостите на оптималните разходи също от относителната заетост на междугарието при определен капацитет. От тези графики и получени функции директно може да се определят оптималните разходи и съответната оптимална продължителност на прекъсването. Тези стойности трябва да са нормативни и оперативните работници по поддържането и експлоатационния персонал по управление на движението трябва да се съобразяват с тях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В изложението е представена методика за определяне на оптималната продължителност на аварийно прекъсване на движението на база минимизиране на общите разходи, състоящи се от две компоненти: разходи за отстраняване на последствията от произшествието довели до прекъсване на движението и допълнителни експлоатационни разходи свързани със задържането и закъснението на влаковете за периода на прекъсване на движението и за времето за нормализацията му. Отчетени са и експлоатационните условия, при които се определя оптималната продължителност на прекъсването, а именно наличен максимален капацитет на междугарието и интензивност на движението. Получени са и съответни функционални зависимости на базата, на които може директно да се определи оптималната продължителност на прекъсването в зависимост от текущите експлоатационните условия.

Оптималната продължителност на прекъсването трябва в случая да се разглежда като нормативно. Оперативните работници от поддържането и управление на движението трябва да се стремят да планират действията си така, че да го постигнат.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Райков Р., Младенов Г., Пешев Е., Христова Н., Оптимална продължителност на „прозорец“ за ремонт на железния път, Бюлетин НИИТ , 1., С., 1970.
- [2] Тодоров М., Христов Хр., Карагъзов К., Влияние на прекъсването на движението по междугария върху влаковата работа в железопътните участъци, сп. „Железопътен транспорт“, кн.7, С., 1976.

- [3] Кирчев Т., Моделиране и управление на движението в оперативни условия, ВТУ „Тодор Каблешков”, С., 2018.
- [4] Размов Т., Методика, моделиране и прогнози на трафика и нужните инвестиции в пътно и локомотивно оборудване при внедряване на ERTMS в железопътната мрежа на Република България, семинарна тема „Тенденции за развитие на оперативната съвместимост в железопътния транспорт в страните от ЕС”, С., 2008.
- [5] Стоилова С., Изследване на капацитета на железопътните линии, Конференция „Транспорт, екология, устойчиво развитие” ЕКО Варна '08, Варна, 2008.

## **DETERMINATION OF NORMATIVE DURATION OF ACCIDENTAL MOVEMENT INTERRUPTION BASED ON COSTS OPTIMIZATION**

**Todor Razmov, Teodor Kirilov Kirchev**  
[t.razmov@gmail.com](mailto:t.razmov@gmail.com), [tkirchev@vtu.bg](mailto:tkirchev@vtu.bg)

**Todor Kableshkov University of Transport**  
**Sofia, 158 Geo Milev Str.158**  
**BULGARIA**

**Key words:** *safety, operational management, interruption of movement, optimization methods, normalization of traffic*

**Abstract:** *The normative duration of the accidental train movement interruption is determined on the basis of total costs optimization. For this purpose, a methodology is developed and presented. The total costs consist of two components: costs for removal of the effects occurred due to an accident and additional exploitation costs. Costs for removal of the effects occurred due to the accident depend on the interruption realization time. The type of theoretical curve is in a hyperbolic form and its specific analytic type is derived on the basis of statistical data. The additional exploitation costs depend on the train delays caused by the interruption and are composed of two components. The first component includes delays costs related to the train detention time for the interruption realization period, and the second component includes costs for delays in the period for movement normalization. These expenses are described with a second-order function to interruption duration. In the methodology the specific exploitation conditions are reported: existing capacity and intensity of train traffic. Dependencies were established to determine the optimal duration of the traffic interruption and the corresponding minimum total costs, and the costs of components depending on the relative busyness of a given track section. The relative busyness is determined on the basis of existing movement capacity and intensity determined by the train movement schedule in effect. The so obtained optimal duration is accepted as normative and is a benchmark for maintenance services and traffic management.*