

ИКОНОМИЧЕСКА ОЦЕНКА НА НИВОТО НА БЕЗОПАСНОСТ В ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ НА БАЗА ВЪЗНИКНАЛИТЕ ПРОИЗШЕСТВИЯ И ИНЦИДЕНТИ

Тодор Размов¹, Юлия Варадинова²
e-mail: t.razmov@gmail.com, e-mail: jvaradinova@abv.bg

Резюме

Представена е методика за икономическа оценка на нивото на безопасност в железопътния транспорт на база възникналите аварийни ситуации. Нивото на безопасност е основен индикатор за нормалната работа на железопътната мрежа. За количествената му и икономическа оценка е нужен подходящ количествен измерител и единична стойност на разходите за единица от него. Такъв измерител е броят произшествия отнесени към обема на извършената влакова работа за година. За определяне на единичната му стойност е направен анализ на разходите свързани с негативните ефекти от аварийните прекъсвания върху експлоатационната дейност в железопътната мрежа и разходите, свързани с отстраняване на последствията от тях. Влиянието на произшествията, които включват още инциденти и нередности, върху експлоатационната дейност и влаковата работа зависят от капацитета и резерва на железопътната мрежа. За определянето им са използвани обобщени, общодостъпни и агрегирани данни. Представен е и вариант, при който предварително са заложили планови прекъсвания на движението в графика за движение на влаковете. Единичната стойност на разходите се определя на базата на следните компоненти: разходи за отстраняване на последиците от настъпило произшествие, допълнителни експлоатационни разходи от закъснения свързани със задържане на влаковете и последващата нормализация на движението и разходи за отмяна на влакове.

Ключови думи: железопътна мрежа, аварийна ситуация, прекъсване на движението на влаковете, безопасност, оперативно управление, нормализация на движението

JEL: A10, C00, R41

¹ Професор, доктор, катедра „Технология, организация и управление на транспорта“, факултет „Транспортен мениджмънт“, ВТУ „Тодор Каблешков“

² Доцент доктор, катедра „Технология, организация и управление на транспорта“, факултет „Транспортен мениджмънт“, ВТУ „Тодор Каблешков“

Увод

Икономическата оценка на нивото на безопасност може да се направи въз основа на възникналите произшествия и инциденти. Колкото по-малко са произшествията, може да се приеме, че толкова по-високо е нивото на безопасност. Ако се приеме, че нивото на безопасност е основен индикатор за нормалната работа на железопътната мрежа, то за количествената му и икономическа оценка е нужен подходящ показател, с подходящ количествен измерител и съответстваща единична стойност на разходите за единица от този измерител.

Произшествията имат отношение към работата на управителя на железопътната мрежа. Те влияят върху броя и общата продължителност на аварийните прекъсвания свързани с отстраняване на последствията от настъпването им. Разходите за отстраняване на последствията се състоят от (Размов, Кирчев, 2018): разходи за отменени влакове; разходи свързани с определяне на експлоатационните разходи за задържане и закъснение на влаковете при прекъсване на движението и разходи за отстраняване на последиците от произшествието довели до реализация на прекъсване на движението. Разходите по произшествията с пострадали хора обикновено се поемат от застрахователни компании, защото местата във влаковете са застраховани и билетът удостоверява това и затова не са предмет на разглеждане.

Подходящ показател за оценка на индикатора за безопасност е броят произшествия отнесени към общия обем на извършената влакова работа за година, а количественият измерител е брой произшествия за един милион влак километра. Икономическата оценка може да се направи като стойността на количественият измерител се умножи по единичната му стойност.

Целта е разработване на модели и методика за определяне на стойността на произшествията, като се отчете влиянието им върху нормалната работа на железопътната мрежа и да се определи единичната стойност на едно произшествие отнесено на един милион влак километра влакова работа за година.

Определяне на единичните разходи за едно произшествие за единица влакова работа

Както бе прието по-горе единицата измерител е брой на произшествията отнесени на един милион влак километра извършена влакова работа за година. За да се оцени нивото на безопасност от икономическа гледна точка трябва да бъдат определени разходите за едно произшествие, на база разходите свързани с аварийното прекъсване по време, на което се отстраняват

последствията от настъпилите му, и след това да бъде определена единичната стойност на измерителя като се вземе в предвид реализираната влакова работа за година измерена в милиони влак километри.

Единичната стойност на измерителя е равен на средните разходи за едно аварийно прекъсване на движението, предизвикано от произшествие или инцидент, отнесени на един милион влак километра.

Ако броят на произшествията отнесени на милион влак километра намаляват, то и непланираните разходи за прекъсване на движението намаляват, което показва подобряване на безопасността. Реализацията на транспортни проекти, които подобряват техническите параметри на железопътната инфраструктура и дават възможност за прилагане на нови транспортни технологии, по-добро управление и по-добра организация на превозния процес, водят и до увеличаване на безопасността. Ползите от проекта свързани с безопасността могат да бъдат оценени, като намаление на произшествията за единица влакова работа (милион влак километра) и оценени като намалени разходи спрямо варианта без реализация на проекта.

Отделните видове разходи зависят от съответните видове интензивности на движението. Разходи за отменени влакове при прекъсване на движението зависят от броя на отменените влакове за продължителността на прекъсването и съответната им интензивност. Ако λ е часова интензивност на влаковете, заложи като необходим капацитет средно за железопътната мрежа, а γ е процента от влаковете, които са отменени поради аварийното прекъсване, то интензивността на отменените влакове е $\lambda\gamma$. Броят на отменените влакове за време T_{np} (средна продължителност на аварийното прекъсване на движението) е $\lambda\gamma T_{np}$. Интензивността на неотменените влакове е $\lambda(1 - \gamma)$ (вл./час).

Интензивността на отменените пътнически влакове е $\lambda\gamma\gamma_n$, където γ_n е процента отменени пътнически влакове от общия брой отменени влакове, а отменените товарни влакове е $\lambda\gamma(1 - \gamma_n)$, където $(1 - \gamma_n)$ е процента отменени товарни влакове от общия брой отменени влакове.

Общите средни разходи за едно аварийно прекъсване са:

$$C_{прек} = E_{общо} = E_{отм} + E_{ек} + E_{np} \text{ [лв.]} \quad (1)$$

Измерителят се изчислява на базата на броя на произшествията отнесени на един милион влак километра извършена влакова работа.

Броят на произшествията и инцидентите на един милион влак километри влакова работа е $N_i^{trkm} = \frac{Ni}{R_m^{млн}}$, където Ni е общият брой произшествия и инцидентите за една година, а $R_m^{млн} = R_m/1000000$ са милион влак километра влакова работа.

Разходите за едно произшествие или инцидент се определят като разходи за едно прекъсване на движението с определена средна продължителност, а общите разходи за всички произшествия и инциденти са $E_{\text{общо}}^{\text{без}} = Ni \cdot C_{\text{прек}}$.

Стойността на едно произшествие за единица влакова работа, в случая един милион влак километра за година, е $C_{\text{без}} = \frac{E_{\text{общо}}^{\text{без}}}{N_i^{\text{тркм}}}$.

В следващите пунктове ще бъде изяснено как се определят тази стойност.

Определяне на максималния и необходимия капацитет и резерв на железопътната мрежа на базата на агрегирани данни

За определянето на единичните разходи за едно произшествие отнесено на един милион влак километра е необходимо определянето на максималния, необходимия капацитет и резерва на железопътната мрежа на базата на агрегирани данни (Размов, 2020)³, без да се разглеждат поотделно подсистемите и елементите ѝ. Това е породено от факта, че разходите и средната продължителност на всяко аварийно прекъсване на движението е свързано с техническите и технологични параметри на железопътната мрежа и реалните и експлоатационни възможности. Изходните данни са две групи, едната е свързана с особеностите на железопътната мрежа, а втората група е свързана с реализираната влакова работа и трафик.

Първата група обхваща: дължина на железопътната мрежа – L_m [км.]; брой на междугарията в железопътната мрежа – M_m [брой]; брой гари и разделни постове в железопътната мрежа – G_m [брой] и средна дължина на едно междугарие, определена като частно на дължината на железопътната мрежа и броя на междугарията в нея – $l_m = \frac{L_m}{M_m}$ [км.]. Втората група съдържа: брой на влаковете за година заложен в графика за движение на влаковете – $N_{\text{ГДВ}}$ [вл./год.]; брой на влаковете (трафик) за година, за денонощие и за час, които са се движили реално в железопътната мрежа – $N_{\text{ре}}$ [вл./год.], $N_{\text{рд}} = \frac{N_{\text{ре}}}{365}$ [вл./ден], $\lambda = \frac{N_{\text{рд}}}{24}$ [вл./час]; реализирана влакова работа в железопътната мрежа за една година – $A_{\text{вл.км.}}^M$ [вл.км./год.] и влак часове за една година реализирани в железопътната мрежа – $B_{\text{вл.ч.}}^M$ [вл.ч./год.].

Броят на влаковете, които са се движили реално в железопътната мрежа за денонощие $N_{\text{рд}}$ представлява необходимата пропускателна способност на железопътната мрежа, а броят на влаковете, които са се движили за час λ представлява интензивност на реализираното влаково движение.

³ Вземат се агрегирани данни от НСИ.

Влак часовете, които са реализирани за една година, съдържат в себе си в агрегиран вид информация за техническите възможности на железопътната мрежа (допустими скорости за движение на влаковете по железопътните участъци, временни и постоянни ограничения на скоростите), технологичните възможности за управление на влаковото движение (качество на графика за движение на влаковете) и технически възможности на влаковете (допустими скорости за движение на вагоните и локомотивите и времена за засилване и спиране). Като се използват извършената влакова работа $A_{\text{вл.км.}}^M$ измерена във влак километри и влак часовете $B_{\text{вл.ч.}}^M$ реализирани за една година се получава средната годишна участъкова скорост за железопътната мрежа, а именно: $V_{\text{уч}}^M = \frac{A_{\text{вл.км.}}^M}{B_{\text{вл.ч.}}^M}$ [км./ч.]. Тази скорост е показател, чрез който може да се оцени цялостната експлоатационната дейност в железопътната мрежа. Определената средна участъкова скорост е за смесено движение. Влак часовете, които се използват за определянето ѝ съдържат в себе си влак часовете реализирани от всички категории пътнически и всички категории товарни влакове. Ако влак часовете и влак километрите се разделят на реализираните от пътнически и реализираните от товарни влакове, то на тази база могат да бъдат определени средните участъкови скорости за пътническите и за товарните влакове.

Като се използват тези показатели могат да се определят редица средни характеристики на влаковете, които оперират в железопътната мрежа, като не се разделят на пътнически и товарни категории. Тези средни характеристики са:

- Средно влаково рамо (среден пробег на един влак) – $l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}} = \frac{A_{\text{вл.км.}}^M}{N_{\text{рз}}}$ [км.]. Получава се като годишната влакова работа измерена във влак километри се раздели на броя на реално движилите се за година влакове.
- Средно времепътуване от един влак в железопътната мрежа – $t_{\text{спн}}^M = \frac{B_{\text{вл.км.}}^M}{N_{\text{рз}}}$ [часа]. Получава се като реализираните годишни влак часове се разделят на броя на реално движилите се за година влакове.
- Среден брой междугария изминати от един влак – $n_{\text{межд}}^{\text{вл.}} = \frac{l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}}}{l_M}$ [брой]. Получава се като средното влаково рамо се раздели на средната дължина на едно междугарие.

Могат да се определят и редица средни характеристики свързани с движението на влаковете, а именно:

- Среден интервал на движение между влаковете в рамките на влаковото рамо – $\tau = \frac{t_{\text{спн}}^M}{n_{\text{межд}}^{\text{вл.}}}$ [часа] или $\tau_{\text{мин.}} = \frac{t_{\text{спн}}^M}{n_{\text{межд}}^{\text{вл.}}} \cdot 60$ [мин.]. Получава се като средното времепътуване на един влак се раздели на средния брой междугария изминати от него.

- Средна интензивност между влаковете – $\mu = \frac{1}{\tau}$ или $\mu = \frac{60}{\tau_{\text{мин.}}}$ [вл./час].

Получава се като един час се раздели на интервала на движение между влаковете измерен в часове или 60 минути се разделят на интервала на движение между влаковете измерен в минути. Ако тази интензивност се раздели на 60 минути, то се получава интензивността измерена във влакове за минута.

Интензивността μ представлява максималния брой влакове, които могат да се движат за един час.

До този момент се разглежда само едно влаково рамо и участъка от железопътната мрежа ограничена от него. Като използваме μ можем да определим максималния брой влакове, които могат да бъдат пропуснати в този железопътен участък. За да определим максималната пропускателна способност за цялата железопътна мрежа в брой влакове за денонощие или година, трябва да определим колко независими (неприпокриващи се) железопътни участъка с дължина едно влаково рамо могат да се обособят в железопътната мрежа. Във всеки от тези независими железопътни участъка поотделно могат да бъдат пропуснати максимален брой влакове определени на базата на часовата интензивност μ . Сумирайки тези влакове ще получим и максималната пропускателна способност за цялата железопътна мрежа.

Средният брой на независимите железопътни участъци се определя като дължината на железопътната мрежа се раздели на дължината на едно влаково рамо – $n_{\text{жпу}}^{\text{м}} = \frac{L_{\text{м}}}{l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}}}$ [брой] или броя на междугарията се раздели на броя на междугарията, които изминава влака за едно влаково рамо – $n_{\text{жпу}}^{\text{м}} = \frac{M_{\text{м}}}{n_{\text{межд}}^{\text{вл.}}}$ [брой].

Максимален брой влакове, които могат да преминат по един независим железопътен участък е $N_{\text{жпу,д}} = 24\mu\eta$ [вл./ден] или $N_{\text{жпу,ч}} = \mu\eta$, като η е коефициент на използване на денонощието за пропускане на влакове. Нормално е $0,85 \leq \eta \leq 1$.

Максималният капацитет на мрежата за денонощие $N_{\text{макс,д}} = n_{\text{жпу}}^{\text{м}} \cdot N_{\text{жпу,д}}$ [вл./ден] се определя като средния брой независими железопътни участъци се умножи по максималния брой влакове, които могат да бъдат пропуснати в един независим участък, а максималния годишен брой влакове $N_{\text{макс,г}} = N_{\text{макс,д}} \cdot 365$ [вл./год.] се получават като тези за денонощие се умножат по 365 дни. На базата на максималния капацитет се определят максималните влак километра за денонощие и година ($A_{\text{вл.км,д}}^{\text{м,макс}}$, $A_{\text{вл.км.}}^{\text{м,макс}}$), които могат да се реализират. Това става, като максималния капацитет на железопътната мрежа за едно денонощие ($N_{\text{макс,д}}$) се умножи по влаковото рамо ($l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}}$), а за една година така получените влак километри трябва да се умножат по броя на дните в годината. За максималните влак километри се получава – $A_{\text{вл.км,д}}^{\text{м,макс}} =$

$$N_{\text{макс.,д}} \cdot l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}} \text{ за денонощие и } A_{\text{вл.км.}}^{\text{м,макс}} = N_{\text{макс.,г}} \cdot l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}} \text{ или } A_{\text{вл.км.}}^{\text{м,макс}} = A_{\text{вл.км.,д}}^{\text{м,макс}} \cdot 365.$$

Необходим капацитет се определя като брой на влаковете за година и денонощие, които реално са се движили в железопътната мрежа или които са заложили в графика за движение на влаковете. За нуждите на планирането на влаковата работа се използват заложените в ГДВ влакове, а за отчетни нужди се използва реализираното влаково движение. За по-голяма точност ще се използва реално реализираното влаково движение за година, което е $N_{\text{рг}}$ и за денонощие, което е $N_{\text{рд}} = \frac{N_{\text{рг}}}{365}$. Въз основа на това, необходимият капацитет на железопътната мрежа за година е $N_{\text{необх.,г}} = N_{\text{рг}}$ [вл./год.], за денонощие е $N_{\text{необх.,д}} = N_{\text{рд}}$ [вл./ден] и за час е $N_{\text{необх.,ч}} = \frac{N_{\text{необх.,д}}}{24}$ [вл./ч.], а за един независим железопътен участък за година е $N_{\text{необх.}}^{\text{жпу}} = \frac{N_{\text{необх.,г}}}{n_{\text{жпу}}^{\text{м}}}$ [вл./год.], за денонощие е $N_{\text{необх.,д}}^{\text{жпу}} = \frac{N_{\text{необх.,д}}}{n_{\text{жпу}}^{\text{м}}}$ [вл./ден.] и за час е $N_{\text{необх.,ч}}^{\text{жпу}} = \frac{N_{\text{необх.,д}}}{n_{\text{жпу}}^{\text{м}}} = \lambda$ [вл./час].

Резервът на капацитета за железопътната мрежа е $R_{\text{г}}^{\text{м}} = 1 - \frac{N_{\text{необх.,г}}}{N_{\text{макс.,г}}}$ на база годишни данни, $R_{\text{д}}^{\text{м}} = 1 - \frac{N_{\text{необх.,д}}}{N_{\text{макс.,д}}}$ на база денонощни данни и $R^{\text{м}} = 1 - \frac{\lambda}{\mu\eta}$ на база часови интензивности. Вероятността да има влаково движение е $P_{\text{вл.дв.}} = 1 - R^{\text{м}} = \frac{\lambda}{\mu\eta}$.

Ако приемем, че трябва да се осигурят възможност за планово обновяване, рехабилитация и модернизирание на части и елементи от железопътната мрежа, то трябва да се предвидят планови „прозорци“ за тази цел. При това положение няма да има прекъсвания в движението на влаковете, а графикът за движението им трябва да бъде уплътнен. Нормално е един планов прозорец ($T_{\text{пл.проз.}}$) да бъде 6 часа или 360 минути.

Влак километри, които биха могли да се реализират, ако го нямаше влаковото прекъсване са: $A_{\text{пл.проз.}} = \lambda \cdot T_{\text{проз.}} \cdot \eta \cdot P_{\text{вл.дв.}} \cdot l_{\text{вл.рамо}}^{\text{вл.}}$ [вак километра].

Използването и залагането в графика за движение на влаковете на планови прекъсвания ще доведе до промяна на максималния капацитет на железопътната мрежа и резерва ѝ. Максималният денонощен капацитет с отчитане на плановите прекъсвания се определя по следния начин: $N_{\text{макс.,д}}^{\text{пл.прек.}} = \mu(24\eta - T_{\text{пл.проз.}}) \cdot n_{\text{жпу}}^{\text{м}}$, а годишният е: $N_{\text{макс.,г}}^{\text{пл.прек.}} = N_{\text{макс.,д}}^{\text{пл.прек.}} \cdot 365$. Резервът на капацитета в този случай е:

$$R_{пл.прек.}^м = 1 - \frac{N_{необх.,\delta}}{N_{пл.прек. макс.,\delta}} = 1 - \frac{N_{необх.,\delta}}{\mu(24\eta - T_{пл.проз.}) \cdot n_{жпу}^м},$$

а като се използват часовете интензивности става $R_{пл.прек.}^м = 1 - \frac{\lambda}{\mu \left(\eta - \frac{T_{пл.проз.}}{24} \right)}$.

Определяне на разходите за отменени влакове при прекъсване на движението

Разходите свързани с отмяната на влакове поради произшествия и инциденти са:

$$E_{отм} = \lambda\gamma\gamma_n T_{np} c_{отм}^п + \lambda\gamma(1 - \gamma_n) T_{np} c_{отм}^{тов} + \lambda\gamma\gamma_n T_{np} c_{npб}^п \text{ [лв.]}, \quad (2)$$

където $c_{отм}^п$, $c_{отм}^{тов}$ и $c_{npб}^п$ са съответните разходи за отменен пътнически и товарен влак и разходите за трансбордиране на пътнически влак. Стойностите им се определят на база приходите от инфраструктурни такси, ако влаковете биха се движили и средни стойности за трансбордиране.

Необходимата часова интензивност е λ , γ е относителния дял на отменените влакове, γ_n е относителния дял на отменените пътнически влакове, $1 - \gamma_n$ е относителния дял на отменените товарни влакове, а T_{np} е средната продължителност на едно аварийно прекъсване.

Разходите за отменен пътнически и товарен влак са съответно $c_{отм}^п = l_{вл.рамо}^{вл.} I_{tkm} + l_{вл.рамо}^{тов.} Q_{бр}^п I_{gtkm}$ (лв.) и $c_{отм}^{тов} = l_{вл.рамо}^{вл.} I_{tkm} + l_{вл.рамо}^{тов.} Q_{бр}^т I_{gtkm}$ (лв.) за един час за влак, където $l_{вл.рамо}^{вл.}$ е средно влаково рамо; $Q_{бр}^п$ и $Q_{бр}^т$ – са съответно средните брутни тегла на един пътнически влак и един товарен влак; I_{tkm} и I_{gtkm} са инфраструктурни такси съответно за един влак километър и за един бруто тон километър.

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, а втората компонента включва разходите от закъснения за периода на нормализация на движението (Тодоров, Христов, Карагъзов, 1976; Размов, Кирчев, 2018; Кирчев, 2018). Те зависят от общите влак часове или влак минути закъснение и от единичната цена на

един влак час или влак минута закъснение. Теоретично общите влак часове или влак минути закъснение се определят по следния начин:

$$E_{ек} = Z_{ек} c_{ек} = \frac{\lambda(1-\gamma)}{2 \cdot \beta_{рез}} T_{np}^2 c_{ек} = \frac{1}{2} \frac{\lambda(1-\gamma)\mu}{\mu - \lambda(1-\gamma)} T_{np}^2 c_{ек} \text{ [лв.]}, \quad (3)$$

където:

$\lambda(1-\gamma)$ – часова интензивност на влаковете, необходим капацитет (влака за час), които не са отменени;

μ – часов капацитет (влака за час);

T_{np} – продължителност на аварийното прекъсване в часове;

$c_{ек}$ – единична стойност на разходите за закъснение от един час на влак.

$c_{ек} = 60 \cdot [c_{ек}^п \phi + c_{ек}^п(1 - \phi)] = 60 \cdot [2,5 \cdot \phi + 1,4 \cdot (1 - \phi)]$, където ϕ е относителен дял на пътническите влакове⁴.

Определяне на разходите за отстраняване на последиците от произшествие 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 (Райков, Младенов, Пешев, Христова, 1970; Размов, Кирчев, 2018) и има вида:

$$E_{np} = b_0 + \frac{b_1}{T_{np}} \text{ [лв.]} \quad (4)$$

Разходите за един час аварийно прекъсване на движението за работи по отстраняване на последиците от него могат да се определят и по следния начин: $E_{np}^{час} = \frac{E_{np}}{T_{np}^{авар.}}$, където $E_{np} = \frac{E_{sum}^{np}}{N_{np}^{авар.}}$ са средните разходи за едно аварийно прекъсване със средна продължителност – $T_{np}^{авар.}$. Средната продължителност на едно аварийно прекъсване е $T_{np}^{авар.} = \frac{T_{sum}^{hour}}{N_{np}^{авар.}}$ в часове, където $N_{np}^{авар.}$ е броя на аварийните прекъсвания за година, $T_{sum}^{hour} = \frac{T_{sum}^{min}}{60}$ са сумарните часове за аварийни прекъсвания за година, а T_{sum}^{min} са сумарните минути за аварийни прекъсвания за година.

В случая се използва теоретичната функция за определяне на разходите, като те са $E_{np} = 1100$ лв.

⁴ За определяне на единичната стойност на разходите за закъснение на влак е използван ДП НКЖИ (2020).

Определяне на общите разходи

Общите разходи за прекъсване са $E_{\text{общо}} = E_{\text{отм}} + E_{\text{нр}} + E_{\text{ек}}$ лв. или

$$E_{\text{общо}} = \lambda\gamma\gamma_n T_{\text{нр}} c_{\text{отм}}^n + \lambda\gamma(1 - \gamma_n) T_{\text{нр}} c_{\text{отм}}^{\text{тоб}} + \lambda\gamma(1 - \gamma_n) T_{\text{нр}} c_{\text{нрб}}^n + b_0 + \frac{b_1}{T_{\text{нр}}} + \frac{1}{2} \frac{\lambda(1-\gamma)\mu\eta}{\mu\eta - \lambda(1-\gamma)} T_{\text{нр}}^2 c_{\text{ек}} \text{ [лв.]}$$

Определяне на стойността на показателя за безопасност

Показателят за безопасност се изчислява на базата на намалението на броя на произшествията отнесени на един милион влак километра извършена влакова работа.

Броят на произшествията и инцидентите на един милион влак километри влакова работа е

$$N_i^{\text{trkm}} = \frac{Ni}{R_m^{\text{млн}}} \text{ [лв.]} \quad (5)$$

където Ni е общият брой произшествия и инцидентите за една година, а $R_m^{\text{млн}} = R_m / 1000000$ милион влак километра влакова работа.

Оценката за подобряване на безопасността е намаляването на броя произшествия и инциденти за един милион влак километри влакова работа за година и се определя като общите разходи за прекъсвания породени от произшествията и инцидентите е $C_{\text{без}} = \frac{E_{\text{общо}}^{\text{без}}}{N_i^{\text{trkm}}}$.

Заклучение

Представена е методика за икономическа оценка на нивото на безопасност в железопътния транспорт на база възникналите аварийни ситуации. Обоснован е показател за оценка на нивото на безопасност на железопътната мрежа и е представена методика за определяне на неговата единична стойност. Отчетени са възможностите на железопътната мрежа чрез определяне на максималния капацитет и резерва на капацитета ѝ без и при заложен планови прекъсвания, като са използвани обобщени и агрегирани годишни данни за работата на железопътния транспорт. Представени са методиките и моделите за определяне на разходите за отстраняване на последствията от възникналата аварийна ситуация (произшествие), разходите за отменени влакове, разходите за закъснения на влаковете причинени от задържането им по време на аварийното прекъсване и разходите за закъснения на влаковете по време на нормализацията на движението. Определена е единичната стойност на избрания показател.

Използвана литература

- ДП НКЖИ. (2020). Референтен документ на железопътната мрежа, (DP NKZhI, 2020, referenten document na zhelezopatnata mreza), available at: <https://www.rail-infra.bg/bg/78>.
- Кирчев, Т. (2018). Моделиране и управление на движението в оперативни условия, ВТУ „Тодор Каблешков“, дисертационен труд. (Kirchev, T., 2018, Modelirane i upravlenie na dvizhenieto v operativni uslovia, VTU „Todor Kableshkov“, disertatsionen trud).
- НСИ (2020). Агрегирани данни – Железопътен транспорт. (NSI, 2020, Agregirani dannii – zhelezopaten transport), available at: <https://www.nsi.bg/bg/content/1729/железопътен-транспорт>.
- Размов, Т. (2020). Определяне на максималния, необходимия капацитет и резерв на железопътната мрежа на базата на обобщени и агрегирани данни, сп. „Механика, Транспорт, Комуникации“, том 18, брой 1, с. I-17. (Razmov, T., 2020, Opredelyane na maksimalnia, neobkhodimia kapatsitet i rezerv na zhelezopatnata mreza na bazata na obobshteni i agregirani dannii, sp. „Mehanika, Transport, Komunikatsii“, tom 18, broi 1, s. I-17).
- Размов, Т., Кирчев, Т. (2018). Определяне на нормативна продължителност на аварийно прекъсване на движението на база оптимизация на разходите, сп. „Механика, Транспорт, Комуникации“, том 16, брой 3/1, с. II-1. (Razmov, T., Kirchev, T., 2018, Opredelyane na normativna prodalzhitelnost na avariino prekasvane na dvizhenieto na baza optimizatsia na razhodite, sp. „Mehanika, Transport, Komunikatsii“, tom 16, broi 3/1, s. II-1).
- Райков, Р., Младенов, Г., Пешев, Е., Христова, Н. (1970). Оптимална продължителност на „прозорец“ за ремонт на железния път, Бюлетин НИИТ, бр. 1. (Raikov, R., Mladenov, G., Peshev, E., Khristova, N., 1970, Optimalna prodalzhitelnost na „prozorets“ za remont na zheleznia pat, Byuletin NIIT, br. 1).
- Тодоров, М., Христов, Хр., Карагьозов, К. (1976). Влияние на прекъсването на движението по междугария върху влаковата работа в железопътните участъци, сп. „Железопътен транспорт“, бр. 7. (Todorov, M., Khristov, Hr., Karagiozov, K., 1976, Vliyanie na prekasvaneto na dvizhenieto po mezhdugaria varhu vlakovata rabota v zhelezopatnite uchastatsi, sp. „Zhelezopaten transport“, br. 7).

**ECONOMIC ASSESSMENT OF THE LEVEL OF SAFETY
IN THE RAILWAY TRANSPORT ON A BASE AN ARISED
EMERGENCY SITUATIONS**

Prof. Todor Razmov, PhD
Department of Technology Organization and Transport Management
Faculty of Transport Management
Todor Kableshkov University of Transport
e-mail: t.razmov@gmail.com

Assoc. Prof. Julia Varadinova, PhD
Department of Technology Organization and Transport Management
Faculty of Transport Management
Todor Kableshkov University of Transport
e-mail: jvaradinova@abv.bg

Abstract

A methodology for economic assessment of the level of railway safety on the basis of the emerged emergencies has been presented. The level of safety is a basic indicator of the normal operation of the railway network. For quantitative and economic evaluation on the safety requires an appropriate quantitative meter and its corresponding unit cost. The number of accidents attributed to the total amount of trains work performed per year was selected as the main indicator. To determine its unit value, an analysis was made of the costs associated with taking into account the negative effects of emergency interruptions on the operation of the railway network and the costs associated with eliminating the consequences of an emergency. The impact of accidents, which also include incidents and irregularities, on the operation and trains work depends on the capacity and reserve capacity of the railway network. Summarized, publicly available and aggregated data were used to determine them. An option is also presented in which scheduled traffic interruptions are set in advance in the train movement schedule. The unit cost is determined on the basis of the following components: cost of eliminating the consequences of the accident, additional operational costs of delays related to the trains detention and the subsequent normalization of traffic and cost of cancelled trains.

Key words: railway network, emergency situation, interruption of trains movements, safety, operational management, normalization of movement

JEL: A10, C00, R41