



ПОДХОД ЗА РАЗПРЕДЕЛЯНЕ НА ИЗИСКВАНЕТО ЗА НАДЕЖНОСТ НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ СИСТЕМИ МЕЖДУ ИЗГРАЖДАЩИТЕ ГИ ЕЛЕМЕНТИ

Николай ГЕОРГИЕВ
safetyniky@mail.com

Доцент, доктор, ВТУ "Т. Каблешков", 1574 София, ул. „Гео Милев“ 158
БЪЛГАРИЯ

Резюме: Железопътните гари и междугария, както и съставените от тях отделни участъци и линии, от гледна точка на надеждността представляват сложни технологични системи, изградени от множество технически подсистеми и елементи. Прогнозирането на надеждността (въз основа на определен показател) на такива системи в процеса на тяхното проектиране е трудна задача, главно поради липсата на точна информация, както по отношение на участващите в изчисленията величини, така и относно реалното поведение на съставните им елементи. В тази връзка настоящата статия разглежда подход за разпределяне на изискването за надеждност на технологична система върху изграждащите я елементи въз основа на показателите интензивност на отказите и коефициент на готовност.

Ключови думи: Експлоатационна надеждност, технологични системи, транспорт

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Железопътните гари и междугария, както и съставените от тях отделни участъци и линии, от гледна точка на надеждността представляват сложни технологични системи, изградени от множество технически подсистеми и елементи. Прогнозирането на надеждността (въз основа на определен показател) на такива системи в процеса на тяхното проектиране е трудна задача, главно поради липсата на точна информация, както по отношение на участващите в изчисленията величини, така и относно реалното поведение на съставните им елементи.

Принципно, при проектирането на технически системи се предявява определено изискване за надеждност, което се разпределя между изграждащите ги елементи и в този смисъл железопътните технологични системи не бива да правят изключение. Например, при изграждането на нови железопътни линии или

участъци (или реконструкцията на стари) изискването за постигане на определено ниво на експлоатационна надеждност с цел реализиране на непрекъснат транспортен процес следва да се разпредели между отделните гари и междугария. Обстоятелството, че загубата на работоспособност на който и да е елемент (гара или междугарие) води до нарушаване на нормалното функциониране на цялата система (участък или линия) предполага логическа структурна схема, в която по отношение функцията им върху надеждността на системата отделните елементи са свързани последователно. Във връзка с казаното до тук, настоящата статия разглежда подход за разпределяне на изискването за надеждност на технологична система върху изграждащите я елементи въз основа на показателите интензивност на отказите и коефициент на готовност.

2. СЪЩНОСТ НА ПОДХОДА

Изискването за надеждност към нови системи обикновено се представя чрез функцията на вероятността за безотказна работа $P(t)$. Нека за описания по-горе случай на нова железопътна линия за тази функция да е зададено ниво $P_{зад}(t)$. Линията трябва да се проектира по начин, осигуряващ такова ниво на надеждност $P_{пр.}(t)$, при което се реализира непрекъснат транспортен процес след влизането ѝ в експлоатация, т.е. $P_{пр.}(t) \geq P_{зад}(t)$. Изграждащите линията гари и междугария разглеждаме като възстановяеми елементи и предполагаме, че потокът от събития, свързани със загубата им на работоспособност (технологични откази, възникващи поради технически откази или субективни грешки) е прост поасонов поток (с време между събитията, разпределено по експоненциален закон). При това предположение и при условието на последователна структурна схема на надеждност може да се запише следната зависимост по отношение на надеждността на линията:

$$(1) \quad P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = e^{-\lambda \cdot t},$$

където:

$P_i(t)$ - вероятността за безотказна работа на i -ти елемент (гара, междугарие) на линията;

λ_i - интензивност на технологичните откази в съответния i -ти елемент, вследствие на които се прекъсва движението;

λ - интензивност на технологичните откази (прекъсване на движението) на линията, като

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i;$$

n - общ брой на елементите на линията.

При зададени ниво на безотказна работа- $P_{зад}(t)$ и експлоатационно време t посредством зависимост (1) може да се определи допустимата стойност на интензивността на технологичните откази на системата- $\lambda_{дон}$:

$$(2) \quad \lambda_{дон.} = \left| \frac{\ln P_{зад.}(t)}{t} \right|.$$

За да се реализира зададеното ниво на надеждност на системата е необходимо изпълнението на условието:

$$(3) \quad \lambda_{дон.} \geq \sum_{i=1}^n \lambda_{пр.i},$$

където:

$\lambda_{пр.i}$ - ниво на интензивността на отказите в i -ти елемент на проектираната система.

Зависимост (3) изразява възможността изискването за надеждност да се отнесе към отделните елементи на системата посредством интензивностите на отказите. При хипотетичен вариант на равнонадеждни елементи за допустимата стойност на интензивността на отказите в даден елемент i ще имаме:

$$(4) \quad \lambda_{дон.i} = \frac{\lambda_{дон.}}{n}.$$

В действителност обаче, изграждащите системата елементи се характеризират с многообразни технически и технологични различия, което предполага и различни стойности на $\lambda_{дон.i}$ за отделните елементи. Тази особеност може да се отчете посредством „теглови коефициенти на различие“ - ρ_i , които изразяват степента на отклонение на интензивността на отказите в съответния елемент от тази при равнонадеждни елементи

(изразена чрез (4)), като $\sum_{i=1}^n \rho_i = n$. Тогава за

$\lambda_{дон.i}$ може да се запише следния израз:

$$(5) \quad \lambda_{дон.i} = \rho_i \cdot \frac{\lambda_{дон.}}{n}.$$

Отношението $\frac{\rho_i}{n}$ изразява онази част от технологичните откази на цялата система, която е свързана с елемент i . С други думи, това отношение има смисъл на условна вероятност за загуба на работоспособност на системата поради възникване на отказ в елемент i и нека я означим с Q_i . Тъй като системата би могла да бъде в неработно състояние поради отказ в който и да е от елементите ѝ, то $\sum_{i=1}^n Q_i = 1$. При тези уточнения от (5) се получава:

$$(6) \quad \lambda_{дон.i} = Q_i \cdot \lambda_{дон.}$$

Важен момент при проектиране на нова железопътна технологична система (или

реконструиране на стара) е именно определянето на вероятността Q_i . В случай, че са налице данни за поведението на подобна (в техническо и технологично отношение) реално функционираща система тази вероятност може да се определи по следния начин:

$$(7) \quad Q_i = \frac{m}{M},$$

където:

m -общ брой на технологичните откази на i -ти елемент на системата;

M -общ брой на технологичните откази на системата.

Възможно е ползването и на други подходи за определяне стойността на Q_i , например имитационно моделиране [2] и т.н. Определянето на Q_i и $\lambda_{доп.i}$ дава възможност в процеса на определяне надеждността на системата да се проверява условието:

$$(8) \quad \lambda_{пр.i} \leq \lambda_{доп.i}.$$

Изпълнението на условие (8) е гаранция, че така проектираната система след влизане в експлоатация ще осигурява надежден технологичен процес. Ако това условие не се изпълнява следва да се търсят начини за повишаване нивото на надеждност на съответния изграждащ елемент (използване на по-надеждни компоненти, промяна на режима на експлоатация, търсене на възможности за резервиране и т.н.).

Разпределението на изискванията за надеждност между изграждащите дадена система елементи може да се извърши и въз основа на тяхната пригодност за възстановяване. В този смисъл показателят *коэффициент на готовност* на системата е най-удобен за анализ и за достатъчно дълъг период от време се определя посредством формулата:

$$(9) \quad K_{\Gamma} = \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_e} = \frac{1}{1 + \frac{\bar{T}_e}{\bar{T}_o}},$$

където:

\bar{T}_o -средно време между отказите в системата;

\bar{T}_e -средно време на възстановяване на системата след отказ.

Проектът за изграждане на нова (или реконструкция на съществуваща) железопътна технологична система трябва така да

бъде изпълнен, че при зададена стойност на коефициента на готовност- $K_{\Gamma_{зад}}$ да се изпълнява условието:

$$(10) \quad K_{\Gamma_{пр.}} \geq K_{\Gamma_{зад}}.$$

Израз (10) може да бъде развит по следния начин:

$$(11) \quad K_{\Gamma_{зад}} \leq \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_e} \leq \frac{1}{1 + \frac{\bar{T}_e}{\bar{T}_o}},$$

откъдето се получава условието:

$$(12) \quad \frac{\bar{T}_e}{\bar{T}_o} \leq \frac{1 - K_{\Gamma_{зад}}}{K_{\Gamma_{зад}}}.$$

Съотношението $\frac{\bar{T}_e}{\bar{T}_o}$ изразява средното

време, необходимо за възстановяване работоспособността на системата за осигуряване на 1 час безотказна работа. Вижда се, че са възможни ред комбинации между времената \bar{T}_o и \bar{T}_e удовлетворяващи условие (12) в процеса на проектиране.

Да предположим, че за време t на експлоатация в системата са допуснати

$k = \frac{t}{\bar{T}_o}$ технологични откази и следователно

са проведени k възстановявания след тях.

Общият брой на възстановяванията $\frac{t}{\bar{T}_o}$ може

да бъде разпределен между изграждащите

системата елементи $\left(\frac{t}{\bar{T}_{o_1}}, \frac{t}{\bar{T}_{o_2}}, \dots, \frac{t}{\bar{T}_{o_n}} \right)$ и

изчислен като сума от броя на възстановяванията им със средно време между отказите в тях $\rightarrow \bar{T}_{o_1}, \bar{T}_{o_2}, \dots, \bar{T}_{o_n}$:

$$(13) \quad \frac{t}{\bar{T}_o} = \frac{t}{\bar{T}_{o_1}} + \frac{t}{\bar{T}_{o_2}} + \dots + \frac{t}{\bar{T}_{o_n}} = \sum_{i=1}^n \frac{t}{\bar{T}_{o_i}}$$

При известно средно време за възстановяване работоспособността на отделните елементи \bar{T}_{e_i} може да се намери общото време H_e , необходимо за възстановяване на системата:

$$(14) \quad H_g = \frac{t}{\bar{T}_{o_1}} \cdot \bar{T}_{g_1} + \frac{t}{\bar{T}_{o_2}} \cdot \bar{T}_{g_2} + \dots + \frac{t}{\bar{T}_{o_n}} \cdot \bar{T}_{g_n} = \\ = \sum_{i=1}^n \frac{t}{\bar{T}_{o_i}} \cdot \bar{T}_{g_i}$$

Разделяйки двете страни на (14) на k и вземайки предвид характерните за приетия експоненциален закон зависимости $\frac{1}{\lambda} = \bar{T}_o$ и $\frac{1}{\lambda_i} = \bar{T}_{o_i}$, получаваме следния израз относно средното време за възстановяване на системата:

$$(15) \quad \bar{T}_g = \bar{T}_o \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\bar{T}_{g_i}}{\bar{T}_{o_i}} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} \cdot \bar{T}_{g_i} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \bar{T}_{g_i}$$

Заместването на \bar{T}_g по (15) в (9) позволява да се получи следната зависимост за коефициента на готовност:

$$(16) \quad K_G = \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_o \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\bar{T}_{g_i}}{\bar{T}_{o_i}}} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\bar{T}_{g_i}}{\bar{T}_{o_i}}}$$

Сравняването на изрази (16) и (9) води до извода, че:

$$(17) \quad \frac{\bar{T}_g}{\bar{T}_o} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{T}_{g_i}}{\bar{T}_{o_i}}$$

С цел определяне на средното време за възстановяване на i -ти елемент на системата \bar{T}_{g_i} предполагаме равно разпределение на изискванията към всички елементи на системата, т.е.: $\frac{\bar{T}_{g_1}}{\bar{T}_{o_1}} = \frac{\bar{T}_{g_2}}{\bar{T}_{o_2}} = \dots = \frac{\bar{T}_{g_n}}{\bar{T}_{o_n}}$. Практически това предположение означава, че този елемент, който има по-голяма интензивност на технологичните откази трябва да бъде възстановяван по бързо (по-голяма интензивност на възстановяване) в сравнение с този елемент, който има по-малка интензивност на отказите. Така се достига до следната зависимост:

$$(18) \quad \frac{\bar{T}_g}{\bar{T}_o} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{T}_{g_i}}{\bar{T}_{o_i}} = \frac{\bar{T}_{g_1}}{\bar{T}_{o_1}} + \frac{\bar{T}_{g_2}}{\bar{T}_{o_2}} + \dots + \frac{\bar{T}_{g_n}}{\bar{T}_{o_n}} = \\ = n \cdot \frac{\bar{T}_{g_i}}{\bar{T}_{o_i}}$$

При зададен коефициент на готовност $K_{G_{зад}}$ и определена стойност на средното време между отказите \bar{T}_{o_i} (например изчислена въз основа на зададеното ниво на надеждност на системата) от (18) и с отчитане на (12) може да се определи допустимото средно време за възстановяване на i -ти елемент на системата:

$$(19) \quad \bar{T}_{g_{дон.i}} \leq \frac{\bar{T}_{o_{np.i}}}{n} \cdot \frac{(1 - K_{G_{зад}})}{K_{G_{зад}}}$$

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата статия предлага опростен подход за разкриване на взаимните връзки и зависимости между показателите, характеризиращи надеждността на железопътни технологични системи и изграждащите ги елементи. Въз основа на този подход е възможно прогнозиране на поведението на различни по своя вид и характер технологични системи, разпределяне на изискванията (и отговорностите) по отношение на условията за реализиране на надежден транспортен процес, както и вземането на важни управленски решения още в процеса на проектиране.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Crowe, D., Feinberg, A. *Design for Reliability*. CRC Press LLC, 2001.
- [2] Georgiev, N. *A Probabilistic Approach and Simulation Method for the Determination of Reliability Function Regarding Railway Systems*. International conference "Transportation and Land Use Interaction", Bucharest, Romania, 2008.
- [3] Hoang, P. *Handbook of Reliability Engineering*. Springer, London, 2003.

AN APPROACH FOR SHARING OF THE RELIABILITY DEMAND REGARDING RAILWAY TECHNOLOGICAL SYSTEMS ON THEIR CONSTITUENT ELEMENTS

Nikolay GEORGIEV

*Higher School of Transport "T. Kableshkov", "Geo Milev" Street 158, 1574 Sofia
BULGARIA*

***Abstract:** From the point of view of reliability the railway stations, interstations and also lines composed of them are complex technological systems built of many technical subsystems and elements. When designing such kind of systems the reliability forecasting (on the basis of a chosen indicator) is a very hard task mainly for the lack of precise information regarding both the variables taking part in the computation and real behavior of constituent elements. In this sense the present paper considers a simple approach for sharing of the reliability demand with respect to a railway technological system on its constituent elements on the basis of indicators: failure rate and availability.*

***Key words:** Operational reliability, technological system, transport*