

5. Kvyatkovskaya I.Yu. *Etapy problemno-orientirovannoy metodologii podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy dlya slabostrukturirovannykh problem* [Stages of problem-oriented methodology for decision support for semistructured problems] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University: Management, Computer Science and Informatics.] 2009, no 1, pp. 60–65.
6. Larchenko A.P. *Otsenka biznesa. Podkhody i metody* [Business Valuation. Approaches and methods] SPb.: "PRTeam", 2008, 59 p.
7. Morozov A.A. *Ob odnom podkhode k logicheskomu programmirovaniyu intel-lektualnykh agentov dlya poiska i raspoznavaniyu informatsii v internete* [An approach to the logic programming of intelligent agents to search for and recognition of information on the Internet] *Elektronnyy zhurnal. - ISSN 1684-1719., ZhURNAL RADIOEL'YEkTRONIKI* [Magazine of radio electronics] no.10, 2003.
8. Prikhodko M.A. *Informatsionno-potentsialnyy podkhod k issledovaniyu rasprostraneniya intellektualnykh agentov v raspredelennykh sistemakh obrabotki informatsii* [Information-potential approach to the study of the spread of intelligent agents in distributed data processing systems] *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii.* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2011, no 2, pp. 8-13.
9. Rosseeva O.I., Zagorulko Yu.A. *Organizatsiya effektivnogo poiska na osnove ontologiy* [Organization of effective search based on ontologies], SO RAN, 2001, 133 p.
10. Sedova Ya. A. *Avtomatizatsiya proektirovaniya predmetnykh ontologiy s is-polzovaniem intellektualnykh agentov* [Design automation of the Subject Ontology with intelligent agents.] *Sbornik trudov konferentsii molodykh uchenykh, Vypusk 6 Informatsionnye tekhnologii, redaktor V.L. Tklich* [Collection conference works of young researchers, #6 Information Technology. Ed. Tklich V.L.] St. Petersburg: SPbGU ITMO. 2009, pp. 429-432.
11. Shurshev V.F., Kochkin G.A., Kochkina V.R. *Model sistemy podderzhki prinyatiya resheniy na osnove rassuzhdeniy po pretседentam* [The model of decision support system based on the reasoning of the precedents] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta- Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University: Management, Computer Science and Informatics.] 2013, no 2, pp. 175-183.
12. Bergman R. Assessing experience utility. *Applied Intelligence.* 2003, no21, pp. 11–28
13. Copeland T., Koller T., Murrin J. *Valuation: measuring & managing the value of companies.* Third Edition. JOHN WILEY & SONS, INC. 2005, 576 p.
14. Roche J. *The Value of Nothing: Mastering Business Valuations.* Global Professional Publishing, 2005, 250 p.

УДК658.588.7.656.25

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ УЩЕРБА, ВЫЗВАННОГО ОТКАЗАМИ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ЭТАПЕ ПРИРАБОТКИ

Статья поступила в редакцию 21.10.2015 г., в окончательном варианте 20.11.2015 г.

Голубев Андрей Сергеевич, научный сотрудник, Институт инженерной физики, 142210, Российская Федерация, Московская область, г. Серпухов, Б. Ударный пер., 1а, e-mail: golubev@r4f.su

Рассмотрена методика оценки экономического ущерба и упущенной выгоды от отказов устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (УЖАТ). Показана необходимость внедрения данной методики не только в холдинге ОАО «Российские железные дороги», но и в других Российских предприятиях, использующих рельсовый транспорт. Рассмотрена методика оценки экономического ущерба и упущенной выгоды от отказов УЖАТ, вызванных поставками некачественного оборудования и проявляющихся в период приработки. Показана целесообразность использования данной методики для расчета величины ущерба и упущенной выгоды вследствие увеличения количества отказов оборудования при поставках некачественных УЖАТ и, как следствие, роста количества остано-

вок и среднего времени простоя поездов. Выявлена актуальность темы – особенно при комплексной оценке влияния показателей безотказности и ремонтпригодности систем и УЖАТ на экономические результаты деятельности линейных предприятий железнодорожного транспорта. Доказано, что по результатам расчетов, проводимых по предлагаемой методике, возможно объективное прогнозирование средних величин ущерба и упущенной выгоды в течение расчетного периода времени. Выявлено, что показатели, предложенные в данной работе, могут быть полезны при планировании объемов для закладываемых на расчетный период страховочных денежных средств.

Ключевые слова: экономические потери, интенсивность отказов, упущенная выгода, железнодорожной автоматика и телемеханика, безопасность, ремонтпригодность, ущерб, методика расчета

ANALYSIS MODELS ASSESS THE DAMAGE CAUSED BY THE FAILURE HARDWARE OF RAILWAY AUTOMATION DURING BURNISHING

Golubev Andrey S., researcher, Institute of Engineering Physics, 1a B. Udarnyy per., Serpukhov, Moscow Region, 142210, Russian Federation, e-mail: golubev@r4f.su

The method of assessment of economic damages and lost profits from failures of devices of railway automatics and telemechanics (RAAT). The necessity to implement this method not only in the holding OJSC «Russian Railways», but also in the other enterprises of the Russian market of using railway transport. The method of assessment of economic damages and lost profits from the failure RAAT caused by supply of defective equipment and is manifested in the running-in period. The expediency of using this methodology to calculate the magnitude of the damage and loss of profits due to the increased number of equipment failures in the supply of low-quality RAAT and, as a consequence, growth in the number of stops and the average dwell time of trains. Identified the relevance of the topic – especially in integrated assessment of the impact of reliability and maintainability of systems and RAAT on the economic performance of the linear enterprises of railway transport. It is proved that the calculation results conducted on the proposed method, it is possible objective forecasting average values of damage and loss of profits over the estimated period of time. Found that the indices calculated in the work, can be helpful when planning lay on the settlement period of the insurance funds.

Keywords: economic costs, failure rate, loss of profit, railway automation and remote control, security, maintainability, damage

В период приработки системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (УЖАТ) имеют, как правило, повышенную интенсивность отказов. Она вызывается приработочными отказами, обусловленными дефектами производства, монтажа, наладки. Иногда с окончанием этого периода связывают окончание срока гарантийного обслуживания объекта, когда устранение отказов производится изготовителем.

В свою очередь, возрастание интенсивности отказов в период продолжения эксплуатации систем и устройств УЖАТ после окончания гарантийного срока вызвано увеличением числа отказов от износа, старения и других причин, связанных с длительной эксплуатацией.

В литературе вопросы оценки ущерба, вызванного отказами УЖАТ отражены недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является разработка моделей ущерба, вызванного отказами УЖАТ на этапе приработки.

Общая характеристика подходов к оценке ущерба и принимаемых предположений. Рассмотрим методику оценки экономического ущерба и упущенной выгоды от отказов УЖАТ, вызванных поставками некачественного оборудования. Эти отказы проявляются, прежде всего, в период приработки. Рассматриваемая методика применяется в холдинге ОАО «Российские железные дороги» для расчета величины ущерба и упущенной выгоды вследствие увеличения количества отказов УЖАТ, количества остановок и среднего време-

ни простоя поездов из-за возможности поставок некачественного оборудования и комплектующих (не соответствующих нормативным требованиям). Данная проблема актуальна при комплексной оценке влияния показателей безотказности и ремонтпригодности систем и средств УЖАТ на экономические результаты деятельности линейных предприятий железнодорожного транспорта, рассмотренной в работах [1, 8, 10].

Под упущенной выгодой в соответствии с действующим гражданским законодательством понимают неполученные доходы, которые могли быть получены, если бы соответствующее право не было бы нарушено. Например, источниками упущенной выгоды может быть снижение количества клиентов, вследствие их перехода к другой транспортной компании; потеря премий по договорам перевозок; увеличение длительности оборота подвижного состава и занятости персонала и т.д. Как правило, выгода перевозчиков связана с реализацией конкретной перевозки в срок. Она теряется в случае срыва плановых сроков, в том числе и по причине простоя поездов из-за отказов оборудования.

Разработка методики. Для оценки качества оборудования, которое используется для ремонта с заменой деталей (узлов, блоков), вычисляют интегральный показатель:

$$\Delta = \Delta\lambda_{отк} + \Delta\mu_{отк}, \quad (1)$$

где

$$\Delta\lambda_{отк} = \begin{cases} \lambda_{отк}^{\phi} - \lambda_{отк}^p & \text{при } \lambda_{отк}^{\phi} - \lambda_{отк}^p > 0; \\ 0 & \text{при } \lambda_{отк}^{\phi} - \lambda_{отк}^p \leq 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta\mu_{отк} = \begin{cases} \mu_{отк}^p - \mu_{отк}^{\phi} & \text{при } \mu_{отк}^p - \mu_{отк}^{\phi} > 0; \\ 0 & \text{при } \mu_{отк}^p - \mu_{отк}^{\phi} \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

где $\lambda_{отк}^p, \mu_{отк}^p, \lambda_{отк}^{\phi}, \mu_{отк}^{\phi}$ – расчетные и фактические интенсивности отказов и восстановления УЖАТ соответственно, определяемые согласно [2, 3, 9].

Качество считается удовлетворительным, если $\Delta = 0$. В противном случае решается задача выявления типа комплектующих и оборудования, вносящих наибольший вклад в проблему недостаточного уровня надежности УЖАТ. Для этого вычисляют долю отказов, приходящихся на каждый тип технических средств по формуле:

$$\gamma_j = n_j / N, \quad (4)$$

где N – общее количество отказов технических средств, n_j – количество отказов технических средств j -го типа.

Оценка средней величины ущерба, вызванного поставками некачественного оборудования, складывается из затрат на устранение дополнительного количества отказов; необходимости дополнительных замен оборудования – что требует трудозатрат; ущерба от задержек поездов; необходимостью утилизации некачественного оборудования; выплат штрафов за нарушение сроков перевозок:

$$C_{доп}(t) = C_{рем}(t) + C_{пр}(t) + C_{комп}(t) + C_{рекл}(t). \quad (5)$$

Величина издержек на ремонт определяется из соотношения:

$$C_{рем}(t) = T_{расч} \cdot C_{зип} \cdot (1 + k_{зам}). \quad (6)$$

где $C_{зип}, k_{зам}$ – соответственно стоимость запасных частей и коэффициент замен.

Для определения величины ущерба, обусловленного остановками и задержкой движения поездов $C_{пр}(t)$, вычислим величину изменения средней длительности (продолжи-

тельности) остановок каждого поезда вследствие отказов систем УЖАТ по причине использования некачественного оборудования:

$$\Delta T_{np} = T_{\phi} - T_p, \quad (7)$$

где T_{ϕ}, T_p – фактическая и расчетная средняя длительности остановок каждого поезда на участке, оборудованном техническими средствами УЖАТ.

При этом следует учесть, что:

$$T_{\phi} = \frac{\frac{1}{\lambda_{поезд}} \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{поезд}}{\mu_{поезд}} - \frac{\lambda_{отк}}{\mu_{отк}^{\phi}}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{\lambda_{поезд}} + \lambda_{отк}^{\phi} \cdot \tilde{\lambda}\right]}{\left(1 - \frac{\lambda_{поезд}}{\mu_{поезд}} - \frac{\lambda_{отк}}{\mu_{отк}^{\phi}}\right) \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{отк}}{\mu_{отк}^{\phi}}\right)}, \quad (8)$$

$$T_p = \frac{\frac{1}{\lambda_{поезд}} \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{поезд}}{\mu_{поезд}} - \frac{\lambda_{отк}^p}{\mu_{отк}^p}\right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{поезд}} + \frac{1}{\lambda_{отк}^p}\right)}{\left(1 - \frac{\lambda_{поезд}}{\mu_{поезд}} - \frac{\lambda_{отк}^p}{\mu_{отк}^p}\right) \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{отк}^p}{\mu_{отк}^p}\right)}, \quad (9)$$

где $\lambda_{поезд}, \mu_{поезд}$ – интенсивности занятий и освобождений участка поездами; λ – отклонение интенсивности отказов:

$$\tilde{\lambda} = \sum_{i=1}^N \left(1/t_{pi} - \sum_{i=1}^n (1/t_{pi})/N\right)^2 / (N-1). \quad (10)$$

Тогда количество дополнительных остановок поездов определяется как:

$$\Delta N_{np} = \lambda_{поезд} \cdot \Delta T_{np}. \quad (11)$$

Указанные величины оцениваются отдельно для грузовых и пассажирских поездов с учетом доли пассажирских поездов $\xi_{пасс}$:

$$\begin{aligned} \Delta T_{zp} &= \Delta T_{np} \cdot (1 - \xi), \quad \Delta T_{nac} = \Delta T_{np} \cdot \xi; \\ \Delta N_{zp} &= \Delta N_{np} \cdot (1 - \xi), \quad \Delta N_{nac} = \Delta N_{np} \cdot \xi. \end{aligned} \quad (12)$$

Затем на основе схем расчетов укрупненных норм эксплуатационных расходов [6, 11–13] вычисляют удельные эксплуатационные расходы как для грузового подвижного состава C_{zp}^n, C_{zp}^n , так и для пассажирского C_{nac}^n, C_{nac}^n . После этого вычисляются удельные расходы, обусловленные ущербом в работе поездов из-за отказов некачественных технических средств УЖАТ:

$$C_{\Sigma}^n = C_{zp}^n \Delta T_{zp} + C_{zp}^n \Delta N_{zp} + C_{nac}^n \Delta T_{nac} + C_{nac}^n \Delta N_{nac}, \quad (13)$$

и дополнительные удельные эксплуатационные расходы:

$$C_{\Sigma}^{\circ} = C_{zp}^{\circ} \Delta T_{zp} + C_{zp}^{\circ} \Delta N_{zp} + C_{nac}^{\circ} \Delta T_{nac} + C_{nac}^{\circ} \Delta N_{nac}. \quad (14)$$

Суммарные затраты за расчетный период $T_{расч}$ при этом вычисляют по формуле:

$$C_{np}(t) = (C_{\Sigma}^{\circ} + C_{\Sigma}^n) \lambda_{поезд} T_{расч}. \quad (15)$$

Ущерб, обусловленный вероятностью уплаты штрафов, компенсаций потери качества грузов и претензий пассажиров, включая компенсацию упущенной ими из-за задержки поездов выгоды, можно определить из соотношения:

$$C_{\text{комп}}(t) = \lambda_{\text{поезд}} T_{\text{расч}} \left[(1 - \xi) C_{\text{зп}} \int_0^{\Delta T_{\text{зп}}} f_{C_{\text{зп}}}(t) dt + \right. \\ \left. + \xi C_{\text{нас}} \int_0^{\Delta T_{\text{нас}}} f_{C_{\text{нас}}}(t) dt + C_{\text{выз}} \int_0^{\Delta T_{\text{выз}}} f_{C_{\text{выз}}}(t) dt \right] P_{\text{рег}} \quad (16)$$

где $f_{C_{\text{зп}}}(t)$, $f_{C_{\text{нас}}}(t)$, $f_{C_{\text{выз}}}(t)$ – соответственно плотности вероятности следующих параметров: снижения стоимости перевозимого груза вследствие потери им качества; компенсаций, выплачиваемых пассажирам потерпевшим убытки из-за опоздания поезда; выплат штрафов и компенсаций упущенной клиентами выгоды за время средней задержки на каждый поезд.

Величина ущерба, связанного с утилизацией части некачественного оборудования и заменой другой его части, может быть определена по формуле:

$$C_{\text{рекл}}(t) = \sum_{j=1}^{m(t)} (N_j^{\text{нарт}} \cdot [(C_j^{\text{зип}} + C_j^{\text{ым}}) \cdot k_j^{\text{ым}}(t) + (1 - k_j^{\text{ым}}) \cdot C_j^{\text{зам}}]), \quad (17)$$

где $k_j^{\text{ым}}$ – коэффициент утилизации; $N_j^{\text{нарт}}$ – объем партии; $m(t)$ – количество типов оборудования, которые потребовалось заменить или утилизировать за расчетный период $T_{\text{расч}}$.

Упущенная выгода складывается из потерянных премий по договорам перевозки; меньшего дохода из-за оттока клиентов, которые отказались от услуги перевозки по рассматриваемому участку железной дороги, вследствие отставания поезда от графика; увеличения времени оборота подвижного состава и невозможности его использования для перевозки новых грузов и пассажиров.

Расчетная формула для оценки средней величины упущенной выгоды за расчетный интервал времени $T_{\text{расч}}$ имеет вид:

$$C_{\text{утуц}}(t) = \lambda_{\text{поезд}} T_{\text{расч}} \left[C_{\text{прем}} \int_0^{\Delta T_{\text{прем}}} f_{C_{\text{прем}}}(t) dt + (1 - \xi) C_{\text{нзп}} \int_0^{\Delta T_{\text{зп}}} f_{C_{\text{нзп}}}(t) dt + \right. \\ \left. + \xi C_{\text{нас}} \int_0^{\Delta T_{\text{нас}}} f_{C_{\text{нас}}}(t) dt + (C_{\text{нзп}} + C_{\text{нас}}) \int_0^{\Delta T_{\text{прем}}} f_{C_{\text{ом}}}(t) dt \right] P_{\text{рег}} \quad (18)$$

где $f_{C_{\text{прем}}}(t)$ – плотность вероятности потери премий за время средней задержки на каждый поезд на $\Delta T_{\text{прем}}$, $f_{C_{\text{нзп}}}(t)$ – плотность вероятности недополучения дохода из-за увеличения среднего времени оборота грузового подвижного состава на каждый поезд на $\Delta T_{\text{зп}}$, $f_{C_{\text{нас}}}(t)$ – плотность вероятности недополучения дохода из-за увеличения среднего времени оборота пассажирского подвижного состава на каждый поезд на $\Delta T_{\text{нас}}$, $f_{C_{\text{ом}}}(t)$ – плотность вероятности отказа клиентов от перевозки вследствие увеличения средней задержки движения поездов на величину $\Delta T_{\text{прем}}$.

При прогнозировании плотностей отказов УЖАТ (в том числе по отдельным единицам номенклатуры оборудования), оценках периодичности профилактических углубленных проверок элементов УЖАТ, в отдельных случаях – замены элементов УЖАТ по истечении сроков службы еще до появления отказов могут быть применены методы анализа, разрабо-

танные для одно- и многомерных временных рядов (например, [5]). Однако, это задача отдельного исследования.

Снижение величины ущерба, вызванного необходимостью дополнительных замен из-за поставок некачественного оборудования, может быть достигнуто, прежде всего, за счет своевременного и обоснованного формирования производственного запаса. В общем случае к производственному запасу «М» относятся материальные ресурсы, поступившие на предприятие железной дороги, но ещё не использованные в процессе производственно-эксплуатационной деятельности.

Производственный запас включает в себя запасные элементы «Э», а также расходные материалы и приспособления. Величина издержек по статье материальных расходов включает в себя, в первую очередь, расходы на обеспечение и поддержание производственного запаса.

В связи с различным характером функционирования оборудования в процессе работы предприятия, методы нормирования для отдельных элементов производственных запасов неодинаковы. Поэтому произведём расчёт экономии для запасных элементов и материальных ресурсов отдельно. При этом мы будем считать, что в процессе складского хранения оборудования не портится (не выходит из строя).

Затраты на закупку и складское хранение запасных элементов (устройств) составляют значительную долю расходов на поддержание объектов в работоспособном состоянии. При этом чрезмерные складские запасы ведут к увеличению размеров «омертвленных» оборотных средств. С другой стороны, отсутствие запасных элементов УЖАТ или задержки с их доставкой ведут к потерям из-за простоя объекта.

При формировании резерва запасных элементов необходимо исходить из условий достаточности количества элементов, находить ~~нх~~ экономически оптимальную величину, которая обеспечит максимальный экономический эффект.

При расчете норм запасных элементов исходя из условия достаточности задается период обеспечения $T_{об}$ и вероятность $p_{оoc}$ того, что норма числа запасных элементов n_3 будет достаточной для замены отказавших элементов n из общего числа, находящихся под наблюдением (используемых).

Таким образом, запасные элементы образуют «ненагруженный резерв».

Если «X» – случайное число отказавших элементов определенного типа за период $T_{об}$, то вероятность отсутствия простоя из-за нехватки запасных элементов этого типа определяется как:

$$p_{оoc} = P\{X \leq n_3\} = \sum_{k=0}^{n_3} P(X = k), \quad (19)$$

где $P(X = k)$ – вероятность того, что число отказавших элементов равно k .

Обычно предполагают, что наработка элементов до отказа имеет показательное распределение ($l = const$) [1, 3], а отказавший элемент мгновенно заменяется запасным. При этих допущениях случайная величина X распределена по закону Пуассона и уравнение (19) примет вид:

$$p_{оoc} = \sum_{k=0}^{\infty} a^k / k! e^{-a} = 1 - \sum_{k=n_3+1}^{\infty} a^k / k! e^{-a} = 1 - q(n_3 + 1), \quad (20)$$

$$a = k_{из} n T_{об} / m_t, \quad (21)$$

$$m_t = 1 / \lambda, \quad (22)$$

$$q(x) = \sum_{k=x}^{\infty} a^k / k! e^{-a}. \quad (23)$$

где a – средний расход элементов за период обеспечения $T_{об}$ при средней наработке на отказ m_i , $k_{из}$ – коэффициент избыточных замен, $q(x)$ – табулированная функция.

Коэффициент избыточных замен учитывает тот факт, что число замененных элементов УЖАТ всегда больше числа фактических отказов – часть элементов меняется необоснованно. Значение этого коэффициента определяется по экспериментальным данным – как отношение средних значений числа замененных и отказавших элементов. Обычно его значение в зависимости от квалификации персонала находится в интервале (1,1...1,5).

В принципе может осуществляться и профилактическая замена оборудования, отработавшего определенный срок, но еще находящегося в работоспособном состоянии. Такие действия могут обосновываться экономической целесообразностью снижения вероятностей отказов.

Расчет количества запасных элементов можно упростить, если функцию распределения числа замен за заданный промежуток времени разложить в ряд по функциям распределения нормального закона и их производным (ряд Грамма-Шарлье). При $a > 4$ можно с достаточной для инженерных расчетов точностью ограничиться первым членом разложения и считать, что:

$$q(x) = 0,5 - \Phi\left(\frac{x - a - 0,5}{\sqrt{a}}\right), \quad (24)$$

где $\Phi(u)$ – табулированная функция.

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp\left(-\frac{v^2}{2}\right) dv. \quad (25)$$

С использованием таблиц функций $q(x)$ или $\Phi(u)$, подбирается необходимая норма (количество) запасных элементов n_3 , удовлетворяющая уравнению (24). Эта величина и составляет производственный запас на период $T_{об}$.

Чтобы воспользоваться данной формулой для расчёта производственного запаса, необходимо иметь следующие исходные данные:

- наработку на отказ i -го типа элемента m_i ;
- период обеспечения запасом производственного процесса $T_{об}$;
- количество элементов i -го типа на участке (станции, круге, обслуживаемом региональным сервисным центром);
- значение доверительной вероятности $p_{доc}$.

При этом мы будем считать, что вышедший из строя (снимаемый с эксплуатации) элемент УЖАТ не является ремонтпригодным, т.е. не подлежит восстановлению и переводу в неиспользуемый резерв.

Для определения значения величины $T_{об}$ необходимо учесть, что производственный запас состоит из трёх частей: текущей n_m , страховой n_c и подготовительной n_n .

$$n_3 = n_m + n_c + n_n. \quad (26)$$

В относительных единицах это можно представить как:

$$T_{об} = t_u + t_c + t_n, \text{ (дней)}. \quad (27)$$

Текущий (оперативный) запас предназначен для обеспечения бесперебойности функционирования (снабжения) между двумя смежными поставками. При его определении используется расчётный период поставок t_u . Средний период поставки в этом случае может быть вычислен как:

$$t_e = \left(\sum_{j=1}^n t_j \right) / n, \text{ (дней)}, \quad (28)$$

где t_j – длительность времени с момента вызова специалиста регионального сервисного центра до его приезда при возникновении j -го отказа.

Страховой запас создается на случай отклонения поставок материалов (оборудования) от сроков, предусмотренных в договоре; задержек в приёмке материалов (оборудования) вследствие их несоответствующего качества.

Страховая составляющая запаса добавляется к текущему и является гарантией обеспечения услуг потребителям при несоответствии ритмов поступления и расхода в интервалах поставки. Относительная величина страхового запаса в днях может быть вычислена по формуле:

$$t_c = \sum_{i=1}^n (t'_i - t_{\text{эзб}}) \cdot B_i / \sum_{i=1}^n B_i \text{ (дней)}, \quad (29)$$

где $t'_i > t_{\text{эзб}}$ – фактические интервалы между поставками, превышающие $t_{\text{эзб}}$, B_i – партия i -ой поставки. При этом:

$$t_{\text{эзб}} = \sum_{z=1}^v t_z \cdot B_z / \sum_{z=1}^v B_z \text{ (дней)}, \quad (30)$$

где t_z – фактические интервалы поставок, B_z – фактическая партия z -ой поставки.

Подготовительная составляющая запаса – это время в днях суточного расхода, необходимое для выполнения комплекса подготовительных операций.

Наработка на отказ для элементов j -го типа является справочной величиной. Тип и количество элементов на рабочем участке определяются исходя из его оснащённости УЖАТ.

Таким образом, вычислив относительный производственный запас по формуле (27), определив тип и количество элементов на участке, затем можно воспользоваться формулой (24). После этого можно определить абсолютную потребность в запасных частях i -го типа для данного участка, а затем осуществить перевод потребности в запасных частях на период $T_{\text{об}}$ в стоимостный эквивалент:

$$C = \sum_{i=1}^n c_i \cdot n_{zi}, \quad (31)$$

где c_i – стоимость элемента i -го типа.

Коэффициент снижения эксплуатационных расходов при смене децентрализованного способа сервисного обслуживания на обслуживание по схеме аутсорсинга (с использованием региональных сервисных центров) можно вычислить по формуле:

$$\gamma_1^{\text{фз}} = C_1^{\text{фз}} - C_2^{\text{фз}} / C_1^{\text{фз}} = R^{\text{фз}} / C_1^{\text{фз}} = R^{\text{фз}} / C_1^z \cdot l_1, \quad (32)$$

где $C_1^z = C_1 \cdot x$.

Зная долю эксплуатационных расходов l_1 на элементы, требующие фирменного обслуживания, можно определить результирующий коэффициент снижения эксплуатационных расходов на запасные части:

$$\gamma_1 = \gamma_1^{\text{фз}} \cdot l_1. \quad (33)$$

Данный подход описан в работах [1, 7, 12].

Для выявления участков железной дороги, где отказы оборудования происходят наиболее часто, можно использовать базы данных, в которых для «записи» по каждому отказу учитывается место его проявления [4], а также группировка этих мест по «участкам».

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. 1. Полученные результаты позволяют спрогнозировать средние величины ущерба и упущенной выгоды в течение расчетного периода времени, обусловленные поставками некачественного оборудования. Эти результаты могут быть использованы при оценке целесообразности применения оборудования от конкретных поставщиков, а также видов оборудования. 2. Указанные показатели могут быть полезны также при планировании закладываемых на расчетный период объемов страховочных денежных средств, в т.ч. предназначенных для возмещения запасов элементов УЖАТ.

Список литературы

1. Безродный, Б.Ф. Методика расчета показателей надежности, безопасности и оценки рисков функционирования систем интервального регулирования / Б.Ф. Безродный, А.В. Горелик, И.А. Журавлев, П.А. Неваров, А.В. Орлов, Н.А. Тарадин, Д.В. Шалягин. - М., 2012. -49 с. Деп. в ВИНТИ, 09.07.12, № 298. -В2012.
2. Безродный, Б.Ф. Методы расчета показателей надежности и безопасности функционирования систем электрической и диспетчерской централизации / Б.Ф. Безродный, А.В. Горелик, И.А. Журавлев, П.А. Неваров, А.В. Орлов, Н.А. Тарадин, Д.В. Шалягин - М., 2011. -62 с. -Деп. в ВИНТИ 12.12.11, № 534. - В2011.
3. Безродный, Б.Ф. Модель анализа экономического ущерба при отказах устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. / Б.Ф. Безродный, А.В. Горелик, П.А. Неваров, А.В. Орлов, А.В. Шалягин – М.: РГОТУПС, 2007. Деп. в ВИНТИ, 1122-В2007. 7с.
4. Брейман А.Д. Инфологическое проектирование баз данных на основе кинематического подхода / А.Д. Брейман //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2014. № 2 (26). С. 115-126.
5. Брумштейн Ю. М. Одно-и многомерные временные ряды: анализ возможных методов оптимизации отсчетов и оценки характеристик/Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова//Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. -Астрахань, 2012. -№ 4. -С. 34-43.
6. Волков Б.А. Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка. – М.: Транспорт, 1996.
7. Горелик, А.В. Повышение надежности функционирования объектов инфраструктуры хозяйства железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом эффективности инвестиций / А.В. Горелик, Б.Ф. Безродный, П.А. Неваров, Д.Н. Болотский, А.С. Веселова, А.С. Голубев / Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 2. С. 207-211.
8. Лысенко, А.В. Краткий обзор методов имитационного моделирования / А.В. Лысенко, Н.В. Горячев, И.Д. Граб, Б.К. Кемалов, Н.К. Юрков // Современные информационные технологии. 2011. № 14. С. 171-176.
9. Неваров, П.А. Методы анализа эффективности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики: Дисс. на соиск. уч. степени кандидата техн. наук: 05.22.08/ Неваров Павел Анатольевич. – М.: МГУПС, 2010. –220с.
10. Сундуков, А.Г. Анализ эксплуатационной эффективности систем диспетчерского управления [Текст] / А.Г. Сундуков // Автореферат дисс. на соиск. уч. степени кандидата технических наук. – М.: МИИТ, 2011. С. 24.
11. Шаманов, В.И. Методика расчета эффективности технических мероприятий по повышению надежности действующих устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)/ В. И. Шаманов, Б. М. Ведерников. – М.: МПС, 1989.
12. Юрков Н.К. Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н.К. Юрков, Н.В. Горячев, Танатов М.К.// Надежность и качество сложных систем. 2013. № 3. С. 70-75.
13. Юрков Н.К. Индикатор обрыва предохранителя как элемент первичной диагностики отказов РЭА / Н.В. Горячев, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. С. 78-79.
14. Grigor'ev A.V., Goryachev N.V., Yurkov N.K. Way of measurement of parameters of vibrations of mirror antennas. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. DOI:10.1109/SIBCON.2015.7147031

15. Yurkov N.K. Measurement of the parameters of three-element nonresonance two-terminal networks at a fixed frequency / N.K. Yurkov, M.V. Klyuev, E.V. Isaev // *Measurement Techniques*. N.Y., Springer, Issue 11, February 2013, Volume 55, Issue 6, pp. 1267-1274.

References

1. Bezrodnyy, B.F. Metodika rascheta pokazateley nadezhnosti, bezopasnosti i otsenki riskov funktsionirovaniya sistem interval'nogo regulirovaniya / B.F. Bezrodnyy, A.V. Gorelik, I.A. Zhuravlev, P.A. Nevarov, A.V. Orlov, N.A. Taradin, D.V. Shalyagin. M., 2012. –49 s. Dep. v VINITI, 09.07.12, № 298. – V. 2012.
2. Bezrodnyy, B.F. Metody rascheta pokazateley nadezhnosti i bezopasnosti funktsionirovaniya sistem elektricheskoy i dispetcherskoy tsentralizatsii / B.F. Bezrodnyy, A.V. Gorelik, I.A. Zhuravlev, P.A. Nevarov, A.V. Orlov, N.A. Taradin, D.V. Shalyagin. M., 2011. 62 s. Dep. v VINITI 12.12.11, № 534. – V. 2011.
3. Bezrodnyy, B.F. Model' analiza ekonomicheskogo ushcherba pri otkazakh ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. / B.F. Bezrodnyy, A.V. Gorelik, P.A. Nevarov, A.V. Orlov, A.V. Shalyagin – M.: RGOTUPS, 2007. Dep. v VINITI, 1122-V2007. 7s.
4. Brejman A.D. Infologicheskoe proektirovanie baz dannyh na osnove kinematicheskogo podhoda / A.D. Brejman // *Prikaspijskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii*. 2014. № 2 (26). S. 115-126.
5. Brumshteyn Yu. M., Ivanov M. V. Odno- i mnogomernye vremennye ryady: analiz vozmozhnykh metodov optimizatsii otschetov i otsenki kharakteristik [Single- and multi-dimensional time series: analysis of possible methods for optimization of characteristics samples and evaluation]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii* [Caspian Journal: Management and High technologies]. Astrakhan, 2012, no. 4, pp. 34–43.
6. Volkov B.A. Ekonomicheskaya effektivnost' investitsiy na zheleznodorozhnom transporte v usloviyakh rynka. – M.: Transport, 1996.
7. Gorelik, A.V. Povyshenie nadezhnosti funktsionirovaniya ob"ektov infrastruktury khozyaystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki s uchetom effektivnosti investitsiy / A.V. Gorelik, B.F. Bezrodnyy, P.A. Nevarov, D.N. Bolotskiy, A.S. Veselova, A.S. Golubev / *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo*. 2015. T. 2. S. 207-211.
8. Lysenko, A.V. Kratkiy obzor metodov imitatsionnogo modelirovaniya / A.V. Lysenko, N.V. Goryachev, I.D. Grab, B.K. Kemalov, N.K. Yurkov // *Sovremennye informatsionnye tehnologii*. 2011. № 14. S. 171-176.
9. Nevarov, P.A. Metody analiza effektivnosti funktsionirovaniya sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki: Diss. na soisk. uch. stepeni kandidata tekhn. nauk: 05.22.08/ Nevarov Pavel Anatol'evich. – M.: MGUPS, 2010. –220s.
10. Sundukov, A.G. Analiz ekspluatatsionnoy effektivnosti sistem dispetcherskogo upravleniya [Tekst] / A.G. Sundukov // *Avtoreferat diss. na soisk. uch. stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk*. – M.: MIIT, 2011. S. 24.
11. Shamanov, V.I. Metodika rascheta effektivnosti tekhnicheskikh meropriyatiy po povysheniyu nadezhnosti deystvuyushchikh ustroystv signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki (STsB)/ V. I. Shamanov, B. M. Vedernikov. – M.: MPS, 1989.
12. Yurkov N. K., Goryachev N. V., Tanatov M. K. Issledovanie i razrabotka sredstv i metodik analiza i avtomatizirovannogo vybora sistem okhlazhdeniya radioelektronnoy apparatury [Research and development of tools and techniques for analysis and automated selection of cooling radioelectronic equipment]. *Nadezhnost i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and Quality of Complex Systems.], 2013, no. 3, pp. 70–75.
13. Yurkov N.K. Indikator obryva predokhranatelya kak element pervichnoy diagnostiki otkazov REA / N.V. Goryachev, N.K. Yurkov // *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo*. 2010. T. 2. S. 78-79.
14. Grigor'ev A.V., Goryachev N.V., Yurkov N.K. Way of measurement of parameters of vibrations of mirror antennas. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. – Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. DOI:10.1109/SIBCON.2015.7147031
15. Yurkov N.K. Measurement of the parameters of three-element nonresonance two-terminal networks at a fixed frequency / N.K. Yurkov, M.V. Klyuev, E.V. Isaev // *Measurement Techniques*. N.Y., Springer, Issue 11, February 2013, Volume 55, Issue 6, pp. 1267-1274.