



УДК 625.172

В. П. Бельтюков, А. В. Андреев

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ НА УЧАСТКАХ С РАЗНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дата поступления: 19.04.2016

Решение о публикации: 23.06.2016

Цель: Определить стоимость технического обслуживания и ремонтов пути с учетом понятия о стоимости жизненного цикла объекта; срок службы верхнего строения пути из условия минимума стоимости жизненного цикла. **Методы:** Использован статистический метод обработки данных автоматизированных систем управления. Применено моделирование жизненного цикла верхнего строения железнодорожного пути. **Результаты:** На основе отраслевой нормативной документации методологии «УРРАН» разработана методика определения стоимости межремонтного цикла, сформулирован метод определения стоимости технического обслуживания и ремонтов, установлен примерный диапазон сроков службы из условия минимальной стоимости технического обслуживания и ремонтов. Рассчитана минимальная стоимость технического обслуживания и ремонтов пути на разных этапах межремонтного цикла. **Практическая значимость:** Рассмотренный метод определения стоимости технического обслуживания и ремонтов закладывает основу принятия управленческих решений при определении стратегии содержания железнодорожного пути и выбора его оптимальных конструкций в разных условиях эксплуатации.

Железнодорожный путь, жизненный цикл, стоимость жизненного цикла, межремонтный цикл, техническое обслуживание пути, ремонт пути, условия эксплуатации, верхнее строение пути.

Vladimir P. Beltyukov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, bw@peterlink.ru; ***Andrey V. Andreyev**, assistant, oddman@bk.ru (Petersburg State Transport University) SPECIFIC FEATURES OF LIFE CYCLE COST CALCULATION OF TRACK SUPERSTRUCTURE ON SECTIONS WITH DIFFERENT OPERATIONAL CONDITIONS

Objective: To calculate the cost of track maintenance and repair taking into account the concept of an object's life cycle cost, and service life of track superstructure proceeding from the condition of minimum life cycle cost. **Methods:** Statistical method of processing automated control systems data was used. Modelling of rail track superstructure life cycle was applied. **Results:** On the basis of industry-specific regulatory documents for URRAN methodology, a method for assessing inter-repair cycle cost was developed, a method for assessing maintenance and repair costs was formulated, and approximate range of service life length was set from a condition of minimum cost of maintenance and repair. Minimum cost of track maintenance and repair at different stages of inter-repair cycle was calculated. **Practical importance:** The method for assessing maintenance and repair costs which was considered in the paper forms basis for taking managerial decisions in determining strategy for rail track maintenance and for choosing best possible designs under different operating conditions.

Railroad track, life cycle, life cycle cost, inter-repair cycle, track maintenance, track repair, operating conditions, track superstructure.

Вопрос оптимального выбора конструкции пути затрагивает все этапы его жизненного цикла, но наиболее важен он для этапа владения объектом (его технического содержания) [2]. Чем чаще производятся техническое обслуживание и ремонты (ТО и Р) пути, тем дороже стоит весь цикл. Также частые работы означают, что те элементы конструкции, которые были использованы на этапе укладки, недостаточно надежны. При этом каждый элемент мог работать дольше, но их объединение в общую конструкцию укорачивает жизненный цикл верхнего строения пути (ВСП). Это означает, что рассматривать конструкцию пути нужно в целом, учитывая специфику параметров отдельных частей.

Важным параметром при анализе жизненного цикла пути является его стоимость. Стоимость жизненного цикла пути – совокупность взаимосвязанных, последовательных процессов установления требований, создания, применения и утилизации объекта, происходящих в течение времени с этапа создания концепции объекта до этапа его утилизации. Исходными данными для нахождения стоимости жизненного цикла являются затраты на этапах цикла [1]. Затраты зафиксированы в финансовых документах. Их анализируют и включают в расчет стоимости жизненного цикла.

Жизненный цикл элементов ВСП включает пять этапов:

- разработку проекта капитального ремонта (реконструкции);
- приобретение элементов ВСП;
- сборку рельсошпальной решетки и укладки ВСП [8];
- техническое обслуживание и ремонт пути [4];
- замену ВСП.

Рассмотрим межремонтный цикл верхнего строения железнодорожного пути, который начинается с приобретения материалов и сборки рельсошпальной решетки и укладки ее в путь, продолжается во время её эксплуатации и заканчивается разборкой путевой решетки [6, 9]. Общую стоимость жизненного

цикла на всех этих этапах с учетом утилизации материалов можно обозначить как стоимость межремонтного цикла (СМЦ) [13].

Расчет стоимости технического обслуживания и ремонтов пути

СМЦ будет определяться как сумма стоимости материалов и затрат на трех этапах (сборки, ТО и Р и замены) [3]. При этом следует учитывать, что на этапе разборки решетки часть элементов (шпалы, рельсы, скрепления) оставляют для дальнейшего использования, а другую часть утилизируют. Затраты на вновь используемые материалы ВСП считаются отдельно и называются возвратной стоимостью.

Таким образом, СМЦ находят по формуле

$$\text{СМЦ} = C_{\text{мат}} + C_{\text{сб}} + C_{\text{ТОиР}} + C_{\text{ут}} - C_{\text{взр}},$$

где $C_{\text{мат}}$ – стоимость материалов; $C_{\text{сб}}$ – стоимость сборки рельсошпальной решетки и укладки ВСП; $C_{\text{ТОиР}}$ – стоимость ТО и Р пути; $C_{\text{ут}}$ – стоимость утилизации ВСП; $C_{\text{взр}}$ – возвратная стоимость материалов ВСП.

С точки зрения выбора стратегии содержания и оптимизации конструкции пути большой интерес представляет стоимость ТО и Р пути. Именно на этом этапе изнашиваются элементы ВСП, которые влияют на срок его службы.

В отраслевых стандартах [11] приведена формула для нахождения стоимости на этапе владения объектом. В случае рассмотрения элементов ВСП этап владения заменяется на этап ТО и Р пути. Таким образом, стоимость работ по ТО и Р пути будет определяться по формуле

$$C_{\text{ТОиР}} = Z_{\text{ЕВ}} + Z_{\text{Э}} + Z_{\text{пл.ТОиР}} + Z_{\text{непл.ТОиР}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{ЕВ}}$ – единовременные затраты на ввод в эксплуатацию; $Z_{\text{Э}}$ – затраты на эксплуата-

цию; $Z_{\text{пл.ТОиР}}$ – затраты на плановое ТО и Р; $Z_{\text{непл.ТОиР}}$ – затраты на неплановое ТО и Р.

Пренебрегая единовременными затратами на ввод в эксплуатацию, отнесенными к этапу укладки рельсошпальной решетки, и затратами на эксплуатацию, приведем формулу (1) к виду

$$C_{\text{ТОиР}} = Z_{\text{пл.ТОиР}} + Z_{\text{непл.ТОиР}}$$

либо

$$C_{\text{ТОиР}} = Z_{\text{ТО}} + Z_{\text{Р}},$$

где $Z_{\text{ТО}}$ – затраты на плановое и неплановое техническое обслуживание пути; $Z_{\text{Р}}$ – затраты на ремонты пути.

Затраты на ТО и Р при организации исследования можно получить из калькуляций исполнителей работ [15]. При этом затраты на ремонты являются единовременными, а на техническое обслуживание – постоянными с тенденцией возрастания по закону Вейбулла [10]. Сама тенденция возрастания затрат при техническом обслуживании обусловлена возрастанием интенсивности отказов в путевом хозяйстве. В отраслевых стандартах [12] приведены виды и степени отказов в путевом хозяйстве.

Определение минимальной стоимости ТО и Р для конструкций ВСП

Критерий оптимального выбора элементов ВСП – достижение минимальной стоимости межремонтного цикла. Чтобы найти минимальную величину затрат на этапе эксплуатации пути, нужно проследить за динамикой прироста затрат на техническое обслуживание и за величиной восстановительных начислений на ремонты пути.

Для примера определения минимальной стоимости ТО и Р взят анализ динамики прироста затрат на текущее содержание пути за последние пять лет на участках с разными типовыми условиями эксплуатации бес-

стыкового пути с железобетонными шпалами, рельсами типа Р65 и скреплениями типа КБ. Восстановительную стоимость ремонтов определяли по формуле из технических условий [5, 14] как отношение стоимости ремонтов и длительности межремонтного цикла. Стоимость ТО и Р определяется на каждый миллион тонно-километров брутто провозимого груза в течение межремонтного цикла. Для определения срока наступления минимального значения стоимости ТО и Р тоннаж приравнен к определенной временной отметке через показатель грузонапряженности исходя из выражения

$$t = \frac{T}{\Gamma},$$

где t – время с начала межремонтного цикла, год; Γ – грузонапряженность на участке, млн ткм бр/км в год; T – пропущенный тоннаж, млн ткм бр.

В качестве участков с разными типовыми условиями эксплуатации в исследовании рассматривались скоростные участки (скорость выше 140 км/ч), особогрузонапряженные (грузонапряженность выше 100 млн ткм бр), участки с высокой долей пассажирского движения (количество пассажирских поездов более 30 шт. в сутки), участки с кривыми малого (менее 350 м) и среднего (350–650 м) радиуса, перевальные участки (уклон выше 15‰ в сочетании с кривыми малых радиусов) и участки с продолжительностью зимнего периода пять и семь месяцев [7].

Грузонапряженность для различных типовых условий эксплуатации принималась среднесетевой для рассматриваемых участков. Расчет производили по формуле

$$\bar{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \Gamma \cdot l}{\sum_{i=1}^n l},$$

где Γ – грузонапряженность на участке, млн ткм бр/км в год; l – длина рассматриваемого участка, км; n – количество рассматриваемых участков, шт.

В табл. 1 приведены показатели грузонапряженности для участков с разными типовыми условиями эксплуатации.

В табл. 2 указаны основные характеристики расчета стоимости ТО и Р и пример расчета для первой тысячи миллионов тонно-

ТАБЛИЦА 1. Среднесетевая грузонапряженность для участков с разными условиями эксплуатации

Участки	Грузонапряженность, млн ткм бр/км в год
Особогрузонапряженные	114,78
С высокой долей пассажирского движения	32,8
Скоростные	25,37
С продолжительностью зимнего периода 5 месяцев	53,28
С продолжительностью зимнего периода 7 месяцев	17,73
С кривыми среднего радиуса	46,61
С кривыми малого радиуса	20,18
Перевальные	44,43

ТАБЛИЦА 2. Расчет стоимости ТО и Р

Периодичность капитальных ремонтов (реконструкций, модернизаций), при которых достигается минимальная стоимость ТО и Р		Затраты на техническое обслуживание пути $Z_{ТО}$, млн руб.	Затраты на ремонт пути Z_P , млн руб.	Стоимость ТО и Р $C_{ТОиР}$, млн руб.
Лет	Млн ткм брутто			
0,44	50	0,12	34,57	34,69
0,87	100	0,18	17,29	17,47
1,31	150	0,24	11,52	11,76
1,74	200	0,30	8,64	8,94
2,18	250	0,36	6,91	7,27
2,61	300	0,42	5,76	6,18
3,05	350	0,48	4,94	5,42
3,48	400	0,55	4,32	4,87
3,92	450	0,62	3,84	4,46
4,36	500	0,70	3,46	4,16
4,79	550	0,78	3,14	3,92
5,23	600	0,86	2,88	3,74
5,66	650	0,94	2,66	3,60
6,10	700	1,02	2,47	3,49
6,53	750	1,11	2,30	3,41
6,97	800	1,20	2,16	3,36
7,41	850	1,30	2,03	3,33
7,84	900	1,40	1,92	3,32
8,28	950	1,49	1,82	3,31
8,71	1000	1,60	1,73	3,33

километров брутто пропущенного тоннажа на особогрузонапряженном участке пути.

На основе расчетных таблиц построены графики зависимостей затрат от пропущенного тоннажа и срока службы пути (см. рисунок).

На рисунке штриховой линией показан график возрастания затрат на техническое обслу-

живание, пунктиром – график зависимости годовых восстановительных отчислений от периодичности ремонтов, сплошной линией – стоимость ТО и Р в целом. Точкой отмечена минимальная стоимость ТО и Р пути.

На основе этих графиков можно сделать вывод о сроке наступления минимальной затратности. В табл. 3 указаны сроки наступления

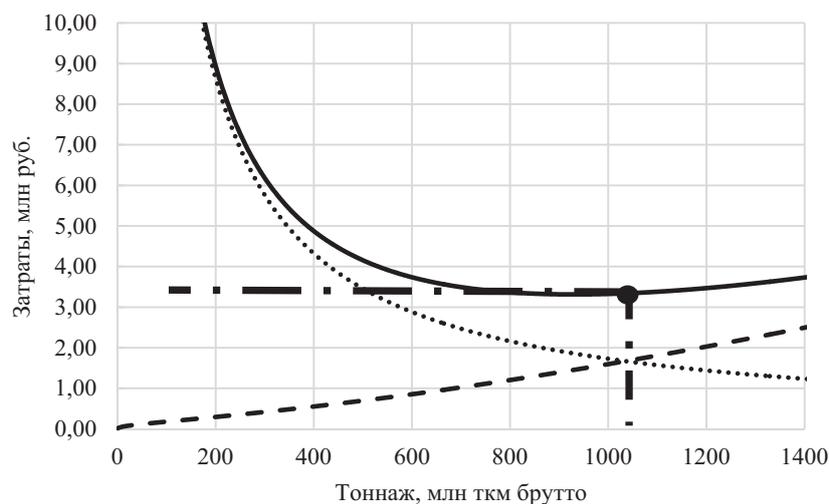


График зависимости затрат от тоннажа при расчете стоимости технического обслуживания и ремонтов пути для особогрузонапряженных участков

ТАБЛИЦА 3. Расчетные показатели стоимостей ТО и Р для участков с различными условиями эксплуатации

Участки	Периодичность капитальных ремонтов (реконструкций, модернизаций), при которых достигается минимальная стоимость ТО и Р		Затраты на техническое обслуживание пути $Z_{ТО}$, млн руб.	Затраты на ремонты пути Z_p , млн руб.	Стоимость ТО и Р $C_{ТОиР}$, млн руб.
	Лет	Млн ткм брутто			
ОГ	8,1	931	1,46	1,86	3,31
ПД	14,0	459	1,12	1,08	2,20
СД	13,9	353	1,91	1,08	2,99
35	10,4	556	1,03	1,44	2,47
37	11,7	208	4,26	1,28	5,50
СР	10,1	471	1,02	1,49	2,51
МР	12,5	253	0,82	1,20	2,02
ПУ	10,6	473	2,53	1,41	3,95

Примечания. ОГ – особогрузонапряженные участки; ПД – участки с высокой долей пассажирского движения; СД – участки скоростного движения; 35 – участки с продолжительностью зимнего периода пять месяцев; 37 – участки с продолжительностью зимнего периода семь месяцев; СР – участки с кривыми среднего радиуса; МР – участки с кривыми малого радиуса; ПУ – перевальные участки.

экстремума затратности для различных условий эксплуатации и показатели стоимостей ТО и Р.

На основе табл. 3 можно сделать вывод, что минимальная стоимость ТО и Р для особогрузонапряженных участков наступает уже на 9-й год после начала эксплуатации, а для участков скоростного движения – на 14-й год. Эти различия можно объяснить интенсивностью работы участков с большой грузонапряженностью и малыми нагрузками при осуществлении скоростного движения, что приводит к большому износу элементов ВСП в первом случае и меньшим выходам материалов ВСП – во втором.

Заключение

На основе отраслевой нормативной документации методологии «УРРАН» разработана методика определения стоимости межремонтного цикла, сформулирован метод определения стоимости технического обслуживания и ремонтов, установлен примерный диапазон сроков службы из условия минимальной стоимости технического обслуживания и ремонтов. Рассчитана минимальная стоимость технического обслуживания и ремонтов пути на разных этапах межремонтного цикла.

Библиографический список

1. Андреев А. В. Методика определения стоимости жизненного цикла конструкции пути с учетом прогнозирования технического состояния пути / А. В. Андреев // «Путь XXI века» : сб. науч. трудов междунар. науч.-метод. конф. – СПб. : ПГУПС, 2013. – С. 188–193.
2. Ашпиз Е. С. Железнодорожный путь : учеб. / Е. С. Ашпиз, А. И Гасанов, Б. Э. Глюзберг и др. ; под ред. Е. С. Ашпиза. – М. : УМЦ ЖДТ, 2013. – 544 с.
3. Бельтюков В. П. Выбор оптимальной конструкции пути в зависимости от стоимости жизненного цикла / В. П. Бельтюков // Проблемы

взаимодействия пути и подвижного состава : тр. междунар. науч.-практич. конф., Днепропетровск, 18–19 сент. 2013 г. – Днепропетровск : ДИИТ, 2013. – С. 60–61.

4. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 2791 р от 29.12.2012 г.

5. О внесении изменений и дополнений в Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 101р от 21.01.2015 г.

6. Положение о системе ведения путевого хозяйства ОАО «Российские железные дороги» : распоряжение ОАО «РЖД» № 3212 р от 31.12.2015 г.

7. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Минтранса России № 286 от 21.12.2010 г.

8. Распоряжение о нормативных сроках выполнения капитального ремонта ОАО «РЖД» № 2539р от 12.12.2012 г.

9. Ремонтные схемы и нормативы периодичности реконструкции (модернизации) и ремонтов балластного пути на высокоскоростных линиях (более 200 до 250 км/час) : распоряжение ОАО «РЖД» № 2804 р от 19.12.2013 г.

10. Симонюк И. А. Исследование изменения технического состояния рельсовой колеи в период между ремонтами при различных конструкциях пути и условиях эксплуатации / И. А. Симонюк // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 1. – С. 151–157.

11. СТО РЖД 02.037-2011. Управление стоимостью жизненного цикла систем, устройств и оборудования хозяйств ОАО «РЖД». Управление ресурсами на этапах жизненного цикла, рисками и анализом надежности (УРРАН). – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 28 с.

12. СТО РЖД 02.041-2011. Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Системы, устройства и оборудование путевого хозяйства. – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 27 с.

13. СТО РЖД 02.044-2011. Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 41 с.

14. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодо-

рожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г.

15. Экономика строительства : учеб. / под ред. И. С. Степанова. – М. : Юрайт, 1997. – 620 с.

References

1. Andreyev A.V. Metodika opredeleniya stoimosti zhiznennogo tsikla konstruksii puti s uchetoм prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya puti [Method for Assessing Track Design Life Cycle Cost Accounting for Forecast of Track Technical Condition. "Put XXI veka": sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [21st Century Track: Coll. Papers of Int. Sci. and Practical Conf.]. St. Petersburg, PGUPS, 2013. Pp. 188-193.

2. Ashpiz Ye. S., Gasanov A. I., Glyuzberg B. E. et al. Zhelezodorozhnyy put: uchebnik [Railroad Track: Course Book]; ed. Ye. S. Ashpiz. Moscow, UMTs ZhDT, 2013. 544 p.

3. Belyukov V.P. Vybor optimalnoy konstruksii puti v zavisimosti ot stoimosti zhiznennogo tsikla [Selection of Optimum Track Design Depending on Life Cycle Cost]. *Problemy vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava: Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problems in Interaction between Track and Rolling Stock: Proc. of Int. Sci. and Practical Conf.]*, Dnipropetrovsk, September 18–19, 2013. Dnipropetrovsk, DIIT, 2013. Pp. 60-61.

4. Instruction on Running Maintenance of Railroad Track: Russian Railways JSC order No. 2791r issued on December 29, 2015.

5. On Changes and Amendments to Technical Conditions for Works on Reconstruction (Modernisation) and Repair of Railroad Track: Russian Railways JSC order No. 101r issued on January 21, 2015.

6. Statutes on Track Facilities Maintenance System of Russian Railways JSC (Approved by the Order of

Russian Railways JSC No. 3212r on December 31, 2015). Moscow, Russian Railways JSC, 2015.

7. Rules of Technical Operation of Russian Federation's Railways: Russian Transport Ministry order No. 286 issued on December 21, 2010.

8. Russian Railways JSC Order on Standard Terms for Full Repairs No. 2539r issued on December 12, 2012.

9. Repair Diagrams and Frequency Guidelines for Reconstruction (Modernisation) and Repairs of Ballast Track on High-Speed Lines (Between 200 and 250 km/h): Russian Railways JSC Order No. 2804r issued on December 19, 2013.

10. Simonyuk I.A. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2013, Is. 1, pp. 151-157.

11. Russian Railways JSC Company Standard 02.037-2011. Life Cycle Cost Management of Systems, Equipment and Facilities of Russian Railways JSC. Management of Resources on Life Cycle Stages, Risks and Reliability Analysis (URRAN). Moscow, Izdatelstvo standartov, 2011. 28 p.

12. Russian Railways JSC Company Standard 02.041-2011. Management of Resources on Life Cycle Stages (URRAN). Systems, Facilities and Track Infrastructure Equipment. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2011. 27 p.

13. Russian Railways JSC Company Standard 02.044-2011. Management of Resources, Risks and Reliability on Life Cycle Stages (URRAN). Terms and Definitions. Moscow, Izdatelstvo standartov, 2011. 41 p.

14. Technical Conditions for Works on Reconstruction (Modernisation) and Repair of Railroad Track: Russian Railways JSC order No. 75r issued on January 18, 2013.

15. *Ekonomika stroitelstva: uchebnik [Construction Economy: Course Book]*; ed. I. S. Stepanov. Moscow, Yurayt, 1997. 620 p.

БЕЛЬТЮКОВ Владимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, bw@peterlink.ru; *АНДРЕЕВ Андрей Викторович – ассистент, oddman@bk.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).