

УДК 625.172

В. П. Бельтюков, А. А. Третьяков**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОТРЕБНОСТИ
В ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕМОНТАХ ПУТИ**

Дата поступления: 29.03.2016

Решение о публикации: 31.08.2016

Цель: Разработать комплексное системное решение по оценке потребности в ремонте пути в рамках жизненного цикла между капитальными ремонтами, а также критерии оценки потребности в техническом обслуживании и ремонте пути с разделением критериев по ключевым конструкционным, эксплуатационным, природно-климатическим факторам; улучшить интегральные методы оценки параметров технического состояния верхнего строения пути и статистическую отчетность о его эксплуатации. **Методы:** Использован статистический метод обработки данных автоматизированных систем управления путевой инфраструктурой. Применена классификация путевых работ в зависимости от вида обслуживаемого элемента конструкции пути и потенциально потребного промежуточного ремонта. Стоимость жизненного цикла верхнего строения железнодорожного пути моделировалась в интервале между капитальными ремонтами. **Результаты:** Рассмотрена возможность оценки потребности в промежуточных ремонтах железнодорожного пути на основе анализа статистической отчетности о выполненных путевых работах, данных диагностики, собранных из автоматизированных систем управления путевой инфраструктурой. **Практическая значимость:** Рассмотренный подход дает системное решение оценки потребности в промежуточных ремонтах пути: при оценке потребности в ремонте рассчитываются интегральные показатели технико-экономического состояния верхнего строения железнодорожного пути, выполняются оптимизационное моделирование стоимости жизненного цикла железнодорожного пути для выбора экономически эффективной стратегии его содержания, а также комплексная оценка эксплуатируемой инфраструктуры с указанием потребных мер управляющего воздействия. Источником проведения расчетов служит статистическая отчетность об эксплуатации верхнего строения железнодорожного пути и результаты его диагностики. Описываемые методики предполагают проведение автоматизированных расчетов на уровне дирекций инфраструктуры.

Железнодорожный путь, комплексная оценка, промежуточный ремонт, стоимость жизненного цикла, критерии назначения ремонтов.

Vladimir P. Belyukov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, bw@peterlink.ru; ***Aleksandr A. Tretyakov**, postgraduate student, eskalran@mail.ru (Petersburg State Transport University)
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF A NEED IN INTERIM TRACK REPAIRS

Objective: To develop comprehensive systemic solution for assessment of the need for track repair within life cycle between full repairs, as well as criteria for assessment of the need for track maintenance and repair, with criteria distributed by key design, operational, and natural-environment and climatic factors; to improve integral methods of evaluation of parameters of technical condition of track superstructure and statistical reporting of its operation. **Methods:** Statistical method for processing data of the automated track infrastructure control systems was applied. Classification of track work based on the serviced track infrastructure element and potentially required interim repair was applied. Life cycle cost of rail track structure was modelled in the interval between full repairs. **Results:** Possibility of estimating the need in interim rail track repairs was considered, based on analysis of statistical reports

on completed track work and diagnostics data collected from automated track infrastructure control systems. **Practical importance:** The considered approach gives a systemic solution to estimation of the need for interim track repairs. When estimating the need for repair, integral indices of technical and economic state of rail structure are calculated, optimisation modelling of rail track life cycle cost is conducted to choose economically efficient strategy of its maintenance, as is comprehensive assessment of operated infrastructure with required measures of controlling actions listed. Sources for calculation were statistical reports on operation of rail track structures and results of their diagnostics. Methods described suppose automated calculations on the level of infrastructure directorates.

Rail track, comprehensive assessment, interim repair, life cycle cost, repair prescription criteria.

При обслуживании путевой инфраструктуры с целью обеспечения перевозочного процесса в целом (в частности, для обеспечения специализированных видов перевозок – тяжеловесных, высокоскоростных и т. д.) определяющее влияние оказывают качество и своевременность промежуточных ремонтов железнодорожного пути. Вовремя выполненные промежуточные ремонты снижают интенсивность расстройств пути после окончания периода нормальной эксплуатации.

Комплексная оценка объектов инфраструктуры для планово-предупредительных ремонтов: актуальность и трудности

Основная трудность в планировании промежуточных ремонтов пути состоит в предупреждении начала интенсивного расстройства пути после окончания периода нормальной эксплуатации. При этом частота отказов и неисправностей, развивающихся в пути от наработки, различна на путях с разными конструкцией и условиями эксплуатации. Соответственно, количество накопленных неисправностей на данных путях также различается [7].

При обосновании общего правила для планирования промежуточных ремонтов пути необходимо определиться:

- с параметрами, которые наиболее полно характеризуют состояние пути, требующего промежуточного ремонта;

- механизмом учета разнородных параметров состояния пути, описывающих неисправное состояние;
- критериями достижения предельного состояния пути.

В совокупности перечисленные проблемы формируют методологию комплексной оценки объектов путевой инфраструктуры. В Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I изучают деграционные процессы железнодорожного пути на основании статистической отчетности о его эксплуатации [3], чтобы выявить закономерности и зависимости, объясняющие его работу в различных условиях.

Анализ данных по выполненным путевым работам, статистики об одиночной замене материалов верхнего строения пути, результатов поездок путеизмерителей показывает, что техническое состояние пути (накопление неисправностей при наработке) меняется нелинейно. Эти зависимости можно описать математически с использованием теории вероятности применительно к восстанавливаемым техническим системам [2].

Для каждого элемента конструкции пути характерны индивидуальные:

- внешний вид зависимости накопления неисправностей от наработки [8];
- гамма-процентный ресурс [4];
- затраты на устранение единичной неисправности;
- итоговые потребные затраты на техническое обслуживание элемента конструкции.

В совокупности на техническое обслуживание пути расходуются средства, которые

могут быть статистически описаны и с некоторой степенью вероятности спрогнозированы на определенный период в будущем.

Не менее значимой составляющей стоимости жизненного цикла железнодорожного пути по сравнению с текущим содержанием являются затраты на ремонт пути. Вместе они составляют затраты жизненного цикла конструкции пути, связанные с наработкой до ресурса. Эта величина, отнесенная к сроку службы пути, представляет собой средние ежегодные расходы на проведение технического обслуживания и ремонтов пути [1, 12–15].

Именно эта величина – стоимость жизненного цикла, приходящаяся на один год эксплуатации пути, – является эффективным критерием оптимизации. Если выстроить систему технического обслуживания и ремонтов с обеспечением минимума средней стоимости жизненного цикла пути за один год, то в период между капитальными ремонтами будет гарантирована безопасная эксплуатация с наименьшими из возможных затрат на обслуживание пути.

Оценка потребности в промежуточных ремонтах пути

В одной из работ авторов, посвященной анализу применения расчетов стоимости жизненного цикла к оптимизации содержания пути, основное внимание сосредоточено на оценке исчерпания ресурса конструкции пути для назначения капитальных ремонтов пути [11]. Схожий подход можно использовать для планирования промежуточных ремонтов пути. Рассмотрим реализуемые в настоящее время промежуточные ремонты и их предназначение согласно «Техническим условиям» [10]:

- средний ремонт (восстановление дренажных и прочностных свойств балластной призмы и обеспечение равноупругости подрельсового основания);
- подъемочный ремонт (восстановление надежности работы креплений и предотвращение угона пути);

- планово-предупредительный ремонт (восстановление равноупругости подшпального основания выправкой пути и уменьшение степени неравномерности отступлений в положении рельсовых нитей по уровню и в плане, а также просадок пути);

- сплошная смена рельсов и элементов стрелочных переводов (замена выработавших ресурс элементов между капитальными ремонтами или реконструкциями).

Своевременный промежуточный ремонт предотвращает переход железнодорожного пути в предельное состояние. Для этого ремонты пути планируются по данным о выполненном техническом обслуживании и по результатам мониторинга состояния пути [6]. Необходимо доказать, что промежуточный ремонт сделать дешевле, чем продолжать интенсивное техническое обслуживание.

Назначение промежуточных ремонтов указывает на состав работ по техническому обслуживанию, по затратам на которые можно оценить близость предельного состояния. Для оценки можно использовать данные о прогнозируемых работах (тех, для которых установлена связь с наработкой до ресурса), о работах, не связанных напрямую с наработкой тоннажа и зависящих от локальных условий (конструкционных, эксплуатационных, климатических). В совокупности эти затраты формируют часть стоимости жизненного цикла железнодорожного пути, а значит, должны рассматриваться наравне с прочими параметрами состояния пути.

Для оценки потребности в промежуточных ремонтах пути можно применить методику расчета интегрального показателя, который оценивает потребность в капитальном ремонте пути по параметрам технического состояния и по расходам на техническое обслуживание [1, 11].

В основу расчета показателя потребности в капитальном ремонте пути (показатель КИСП) заложено сравнение фактических значений параметров технического состояния пути с критериями, полученными на основе расчетов стоимости жизненного цикла пути. Среди

мер управляющего воздействия по показателю КИСП можно рекомендовать капитальный ремонт пути, сохранение, увеличение, уменьшения затрат на техническое обслуживание пути (см. рисунок).

В зоне уменьшения затрат некоторые значения показателя КИСП могут превышать пороговые значения для пути на деревянных или железобетонных шпалах. Для этой зоны характерны:

- малое число накопленных неисправностей по прогнозируемым параметрам технического состояния пути (объемам одиночного изъятия материалов верхнего строения пути и предотказам рельсовой колеи);
- низкие значения потребных прогнозируемых затрат технического обслуживания пути;
- непропорционально высокие значения фактических затрат технического обслуживания пути.

Фактически на данных участках хорошее состояние пути достигается значительными затратами на его техническое обслуживание. Однако это явный признак потребности в промежуточном ремонте.

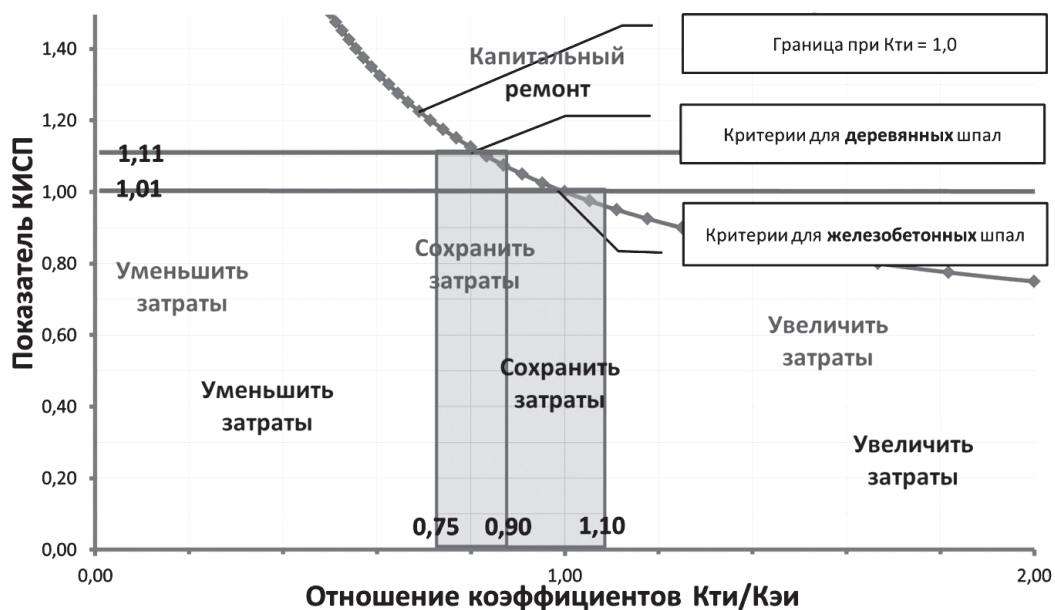
В таблице приведены группы работ технического обслуживания, затраты на проведе-

ние которых следует анализировать для оценки потребности в промежуточных ремонтах пути [5].

Исследования и расчеты выполнены по среднесетевой статистической отчетности, собранной по участкам наиболее характерных эксплуатационных условий, т. е. в основе лежит вероятностный подход. Поэтому за классический сценарий работы пути принимается типовой среднесетевой вариант. На его основе определяются граничные состояния системы «железнодорожный путь с потребностью промежуточного ремонта пути».

Таким образом, для каждого типового среднесетевого варианта (с индивидуальными особенностями конструкции и эксплуатации, влияние которых может в значительной мере повлиять на работу железнодорожного пути [9]) могут быть сформированы индивидуальные критерии оценки потребности в промежуточном ремонте. Решение принимается на основе сравнения обобщенных интегральных показателей, рассчитанных на конкретном участке пути, с критериями типового среднесетевого варианта.

Для расчетов локальной статистической отчетности по отдельным участкам железнодорожного пути требуются актуальные данные,



Критерии оценки потребности в техническом обслуживании по показателям состояния пути

Работы по техническому обслуживанию, подлежащие анализу при планировании промежуточных ремонтов пути

Элемент	Работы технического обслуживания, анализируемые при оценке потребности в ремонте			
	Средний ремонт	Подъемочный ремонт	Планово-предупредительный ремонт	Сплошная смена рельсов
Рельсы	Обслуживание стыков (разгонка, правка, наплавка, подбивка и т. д.)	Разгонка стыковых зазоров	–	Вертикальный и боковой износ головки рельса
				Шлифовка рельсов
				Лубрикация рельсов
				Дефекты контактно-усталостного характера, дефектные рельсы в пути
Шпалы	Одиночная смена шпал	Одиночная смена шпал	–	–
Скрепления	Смена элементов креплений (костылей, клемм, подкладок, изоляторов и т. д.)	Смена элементов креплений	–	–
		Восстановление работоспособности креплений (затяжка болтов, добивка костылей, поправка противоугонов и т. д.)		
Балласт	Ликвидация выплесков в пути	–	Ликвидация выплесков в пути	–
	Досыпка балласта в ящики, планировка откосов, подрезка балласта		Борьба с пучинами и последующая ликвидация отводов	
			Подбивка балласта	
Колея	Предотказы в профиле и по уровню	Предотказы по ширине колеи и в плане	Предотказы в плане, в профиле и по уровню	Предотказы по ширине колеи (по боковому износу рельсов)

что напрямую связано с качеством автоматизации диагностики.

Заключение

Планирование ремонтов пути упрощается с уменьшением используемых для этого кри-

териев, но для многоэлементной системы, которой является железнодорожный путь, по умолчанию не может быть простого решения, если учитывать природно-климатическое и эксплуатационное воздействие.

Ключевым критерием при оптимизации содержания пути по стоимости жизненного

цикла является средняя стоимость жизненного цикла, приходящаяся на один год.

Для комплексной оценки железнодорожного пути с целью планирования промежуточных ремонтов по стоимости жизненного цикла следует анализировать:

- данные мониторинга состояния пути для оценки истощения технического ресурса железнодорожного пути;
- отчетность об объемах и видах выполненных работ по техническому обслуживанию железнодорожного пути.

За эталонный сценарий изменения технического состояния пути по мере наработки до истощения ресурса рационально использовать типовые среднесетевые модели работы пути, рассчитанные для типовых условий эксплуатации.

Значения критериев потребности технического обслуживания и ремонтов пути должны отличаться на путях с разными условиями эксплуатации и конструкциями основных узлов.

Библиографический список

1. Бельтюков В. П. Использование стоимости жизненного цикла для оптимизации технического обслуживания верхнего строения железнодорожного пути / В. П. Бельтюков, А. А. Третьяков // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС. – 2015. – Вып. 3. – С. 42–47.
2. Бельтюков В. П. Разработка методик прогнозирования технического состояния пути, затрат на содержание пути и оптимизации содержания пути по экономическим критериям / В. П. Бельтюков // Путь XXI века : сб. науч. трудов междунар. науч.-практ. конф. 2 июня 2011 г., Санкт-Петербург / под ред. проф. Л. С. Блажко. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 25–33.
3. Бельтюков В. П. Среднесрочное планирование работ по ремонту верхнего строения пути / В. П. Бельтюков // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 23–25.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М., 1990.
5. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (с изм. на 21 янв. 2008 г.). № ЦП-774. – М. : Транспорт, 2000. – 224 с.
6. Положение о системе ведения путевого хозяйства ОАО «Российские железные дороги» (утв. расп. ОАО «РЖД» № 3212 р от 31.12.2015 г.). – М. : ОАО «РЖД», 2015.
7. Сеньковский А. А. Интенсивность накопления деформаций и совершенствование системы диагностики железнодорожного пути : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / А. А. Сеньковский. – М., 2000. – 171 с.
8. Симонюк И. А. Прогнозирование интенсивности накопления остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути для среднесрочного планирования путевых работ : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.06 / И. А. Симонюк. – СПб., 2014. – 148 с.
9. Сычева А. В. Моделирование работы железнодорожного пути с учетом динамических воздействий и различных свойств грунта и насыпи : дис. ... канд. техн. наук : 01.02.04 / А. В. Сычева. – М., 2013. – 138 с.
10. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути : распоряжение ОАО «РЖД» № 75р от 18.01.2013 г.
11. Третьяков А. А. Использование комплексного индекса состояния пути при определении потребности в капитальных ремонтах / А. А. Третьяков // Изв. ПГУПС. – 2015. – Вып. 3 (44). – С. 207–215.
12. Шахуняц Г. М. Железнодорожный путь : учеб. для вузов / Г. М. Шахуняц. – 3-е изд. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.
13. Шахуняц Г. М. Проектирование железнодорожного пути / Г. М. Шахуняц, В. Ф. Яковлев, Ю. Д. Волошко и др. ; под ред. Г. М. Шахуняца. – М. : Транспорт, 1977. – 317 с.
14. Шахуняц Г. М. Работа пути и расходы на его содержание / Г. М. Шахуняц // Сб. науч. тр. МИИТ. – 1976. – Вып. 491. – С. 3–67.
15. Шахуняц Г. М. Техничко-экономические расчеты в путевом хозяйстве железных дорог /

Г.М. Шахунянц. – М. : Трансжелдориздат, 1939. – 244 с.

References

1. Belyukov V.P. & Tretyakov A.A. Ispolzovaniye stoimosti zhiznennogo tsikla dlya optimizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya verkhnego stroyeniya zheleznodorozhnogo puti [Application of Life Cycle Cost to Optimisation of Maintenance of Railroad Track Superstructure]. *Proyektirovaniye razvitiya regional'noy seti zheleznykh dorog: sbornik nauchnykh trudov [Project Development of Regional Rail Network: Coll. Sci. Papers]*; ed. V.S. Shvartsfeld. Khabarovsk: Izdatelstvo DVGUPS, 2015, Is. 3. Pp. 42-47.

2. Belyukov V.P. Razrabotka metodik prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya puti, zarat na sodержaniye puti i optimizatsii sodержaniya puti po ekonomicheskim kriteriyam [Development of Methods for Forecasting Technical Track Condition, Track Operating Expenses and Optimisation of Track Maintenance by Economic Criteria]. “*Put XXI veka*”: *sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [21st Century Track: Coll. Papers of International Sci. and Practical Conf.] July 2, 2011, St Petersburg*; ed. L.S. Blazhko. St. Petersburg, Petersburg State Transp. Univ., 2012. Pp. 25-33.

3. Belyukov V.P. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2013, no. 2, pp. 23-25.

4. GOST 27.002–89 Nadezhnost v tekhnike [Reliability in Engineering]. Main Concepts. Terms and Definitions. Moscow, 1990.

5. Instruction on Running Maintenance of Railroad Track (As Amended on January 21, 2008) no. TsP-774. Moscow, Transport, 2000. 224 p.

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. Senkovskiy A.A. Intensivnost nakopleniya deformatsiy i sovershenstvovaniye sistemy diagnostiki zheleznodorozhnogo puti [Intensity of Strain Accumulation and Improving Track Diagnostics System]. Moscow, 2000. 171 p.

8. Simonyuk I.A. Prognozirovaniye intensivnosti nakopleniya ostatochnykh deformatsiy verkhnego stroyeniya zheleznodorozhnogo puti dlya srednesrochnogo planirovaniya putevykh работ [Forecasting Intensity of Development of Residual Deformation of Railroad Track Superstructure for Mid-Term Planning of Track Work]. St. Petersburg, 2014. 148 p.

9. Sycheva A.V. Modelirovaniye raboty zheleznodorozhnogo puti s uchetom dinamicheskikh vozdeystviy i razlichnykh svoystv grunta i nasypi [Simulation of Railroad Track Operation Accounting for Dynamic Impacts and Different Soil and Banked Ground Properties]. Moscow, 2013. 138 p.

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

11. Tretyakov A.A. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2015, Is. 3 (44), pp. 207-215.

12. Shakhunyants G.M. Zheleznodorozhnyy put: uchebnik dlya vuzov [Railroad Track: Univ. Coursebook]. 3rd ed. Moscow, Transport, 1987. 479 p.

13. Shakhunyants G.M., Yakovlev V.F., Voloshko Yu.D. et al. *Proyektirovaniye zheleznodorozhnogo puti [Designing Railroad Track]*; ed. G.M. Shakhunyants. Moscow, Transport, 1977. 317 p.

14. Shakhunyants G.M. *Sbornik nauchnykh trudov MIIT – MIIT Coll. Papers*, 1976, Is. 491, pp. 3-67.

15. Shakhunyants G.M. Tekhniko-ekonomicheskoye raschety v putevom khozyaystve zheleznykh dorog [Technical and Economic Calculations in Railroads' Track Facilities]. Moscow, Transzheldorizdat, 1939. 244 p.

БЕЛЬТЮКОВ Владимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, bw@peterlink.ru *ТРЕТЬЯКОВ Александр Александрович – аспирант, eskalran@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).