

УДК 625.173.1

А. А. Третьяков**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИНДЕКСА СОСТОЯНИЯ ПУТИ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТРЕБНОСТИ В КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТАХ**

Дата поступления: 29.06.2015

Решение о публикации: 20.10.2015

Цель: Теоретически и практически обосновать комплексный показатель для оценки истощения ресурса конструкцией верхнего строения пути. **Методы:** Статистический метод обработки данных автоматизированных систем управления; факторный анализ влияния неисправностей верхнего строения пути на затраты, включаемые в стоимость жизненного цикла железнодорожного пути; системный подход при обосновании истощения ресурса железнодорожного пути. **Результаты:** Предложен метод комплексной интегральной технико-экономической оценки истощения ресурса пути и оценки потребности в капитальном ремонте на основании прогнозирования значений параметров состояния элементов верхнего строения пути (критериев назначения технического обслуживания). Произведены практические расчеты по прогнозированию интенсивности дефектности элементов конструкции пути и неисправностей геометрических параметров рельсовой колеи. По статистическим данным Октябрьской железной дороги о состоянии участков выполнена комплексная технико-экономическая оценка истощения их ресурса в соответствии с описанным в статье методом. Выполнено сравнение результатов расчета потребности в капитальном ремонте между предлагаемым комплексным показателем и показателями, используемыми в настоящее время (коэффициентом назначения капитального ремонта пути, индексом потребности ремонта пути). Приведено аналитическое сравнение результатов расчета потребности в ремонте по трем показателям. **Практическая значимость:** Разработанный метод позволяет оценивать истощение ресурса верхнего строения железнодорожного пути единым показателем по широкому спектру технических параметров и фактическим понесенным затратам в текущем содержании пути. При этом приоритетная задача состоит в численном анализе экономической эффективности его эксплуатации из условия обеспечения минимальной стоимости жизненного цикла. Численные значения комплексного показателя характеризуют приоритет проведения технического обслуживания пути и его вид согласно разработанной системе критериальной оценки.

Железнодорожный путь, комплексная оценка, комплексный индекс состояния пути, интенсивность инцидентов, капитальный ремонт.

Aleksandr A. Tretyakov, postgraduate student, eskalran@mail.ru (Petersburg State Transport University)
THE USE OF INTEGRATED INDEX OF TRACK CONDITION IN DETERMINING THE NEED FOR FULL REPAIRS

Objective: To provide theoretical and practical justification for an integrated index to evaluate the resource depletion of track superstructures. **Methods:** Statistical method for processing automated control systems; factor analysis of the influence of faults in track superstructures on the expenses included in the costs of a life cycle of railway track; systemic approach in justification of resource depletion of railway track. **Results:** The paper proposes a method of complex integrated technical and economic evaluation of track resource depletion and evaluation of a need for the need for full repairs on the basis of forecasted values of parameters of the state of track superstructures (criteria for ordering technical maintenance). Practical

calculations on forecasting the intensity of faults of tracks construction elements and faults in geometrical parameters of track were conducted. Integrated technical and economic evaluation of resource depletion was conducted in accordance with the method described in the paper on the basis of Oktyabrskaya Railway statistical data regarding the condition of track sections. Calculation results of the need for full repairs obtained from the proposed integrated index and from indices used at the moment (coefficient for designation of full track repairs, index of track repair need) were compared. Analytical comparison between calculation results was conducted by three factors. **Practical importance:** The method developed allows to evaluate the resource depletion of track superstructure by a single factor across a wide spectrum of technical parameters and actual spending on routine track maintenance. Priority task is the numerical analysis of economic efficiency of operation, presuming the need for ensuring minimum life cycle cost. Numerical values of the integrated index characterise the priority of conducting track maintenance and its type in accordance with the developed criterial assessment system.

Railway track, integrated assessment, integrated index of track condition, incident intensity, full repairs.

Современные условия функционирования железнодорожного транспорта требуют реорганизации обслуживания путевой инфраструктуры по фактическому состоянию.

Оценка фактического износа объекта инфраструктуры выполняется по критериям «Технических условий...» [5]. Фактическое состояние пути устанавливается по ключевому критерию наработки тоннажа или срока службы в годах, четырем критериям, оценивающим элементы конструкции пути (одиночный выход рельсов, дефектность шпал, креплений, загрязненность балласта), и критериям УРРАН.

В связи с несовершенством алгоритмов формирования и обработки данных о состоянии пути, связанных с определенной долей недостоверности данных, абсолютные значения критериев потребности ремонта подвергаются искусственному ограничению.

Современные способы оценки потребности ремонтов пути

В настоящее время используется и рассчитывается система показателей, которые в перспективе обоснуют решение о потребности в ремонтах пути:

- коэффициент назначения капитального ремонта пути ($K_{НР}$), объединяющий критерии

«Технических условий...» [5], методологии УРРАН;

- индекс потребности ремонта пути, объединяющий технические критерии назначения ремонтов пути с весовыми коэффициентами.

Методология УРРАН оценивает фактическое состояние пути, в частности, по критериям частоты отказов и коэффициенту прямых расходов [5]. При этом потребность ремонтов определяется по коэффициенту назначения капитального ремонта пути ($K_{НР}$). Он определяется суммированием весовых коэффициентов по каждому критерию, если они достигнуты по данным о фактическом состоянии пути. Чем ближе коэффициент назначения ремонта к 1, тем очевиднее факт технико-экономического износа конструкции пути.

Индекс потребности капитального ремонта определяет усредненный износ элементов конструкции пути, учитываемых критериями, с собственным весом.

Поскольку при определении коэффициентов используется экспертная оценка веса и влияния группы критериев, описать физический смысл процессов износа и принципы трактовки коэффициентов затруднительно. Несмотря на оценку различных критериев назначения ремонтов, существующие подходы реализуют нормативный подход к назначению ремонтов. При этом пропущенный тоннаж яв-

ляется решающим фактором при принятии решения о назначении ремонта пути.

Комплексная оценка технического состояния пути

Для повышения эффективности управленческих решений при определении потребности в капитальном ремонте пути разработан комплексный интегральный технико-экономический показатель – комплексный индекс состояния пути (КИСП).

Методика расчета КИСП разработана в продолжение исследований по прогнозированию технического состояния железнодорожного пути в зависимости от технико-эксплуатационных особенностей железных дорог и оптимизации планов назначения ремонтов на основе минимизации стоимости жизненного цикла железнодорожного пути [2–4].

КИСП рассчитывает величину исчерпания ресурса элементами конструкции пути по критериям назначения ремонтов. Учитывая уровень расходов текущего содержания, он отражает баланс между износом пути и затратами текущего содержания, т. е. технико-экономический износ (рис. 1).

Он в равной степени учитывает уровень расходов текущего содержания и дефектность, поскольку стоимость жизненного цикла определяется именно понесенными затратами, т. е.

$$M_{\text{износа}}(\text{КИСП}) = \frac{1}{2}(M_{\text{износа}}^{\text{экономич.}} + M_{\text{износа}}^{\text{технич.}}),$$

где $M_{\text{износа}}^{\text{экономич.}}$ – коэффициент экономического износа пути ($K_{\text{ЭИ}}$); $M_{\text{износа}}^{\text{технич.}}$ – коэффициент технического износа пути ($K_{\text{ТИ}}$).

Технический износ оценивается коэффициентом технического износа ($K_{\text{ТИ}}$) пути. $M_{\text{износа}}^{\text{технич.}}$ показывает исчерпание эксплуатационного ресурса элементов пути по сравнению с критериями и объединяет их в соответствии с долей стоимости обслуживания конкретных элементов в текущем содержании [1], т. е.

$$M_{\text{износа}}^{\text{технич.}} = \left(\sum_{i=0}^{i=n} (\Pi M_{\text{износа } i} \cdot \beta_i) \right),$$

где $M_{\text{износа } i}$ – коэффициент износа пути по инцидентам каждого вида; β_i – весовой коэффициент, равный среднесетевой доле затрат на обслуживание инцидентов i -го вида от суммарных затрат на текущее содержание пути (табл. 1, 2).

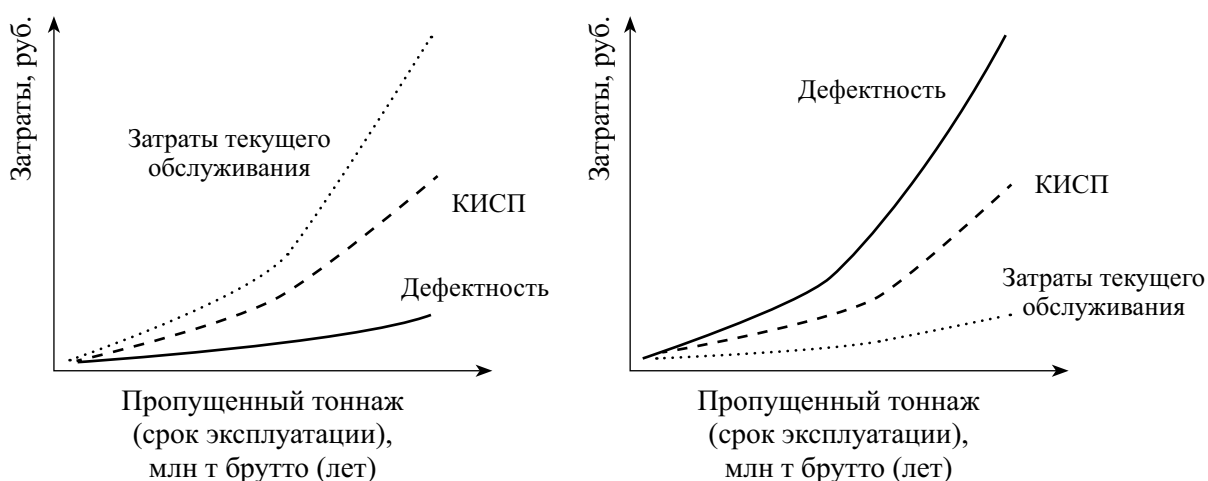


Рис. 1. Техничко-экономическое соотношение между износом пути и величиной затрат на текущее содержание

ТАБЛИЦА 1. Среднесетевые значения весовых коэффициентов β_i для условий эксплуатации с деревянными шпалами при различной грузонапряженности

Тип условий эксплуатации	Γ_{\min} по группе пути	Γ_{\max} по группе пути	Весовые коэффициенты β_i от Γ_{\min}						Весовые коэффициенты β_i от Γ_{\max}					
			ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В	ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В
ШД_ALL	5	110	0,17	0,45	0,12	0,01	0,01	0,23	0,25	0,38	0,12	0,00	0,01	0,24
ШД_А	80	110	0,21	0,22	0,11	0,01	0,02	0,43	0,21	0,17	0,11	0,01	0,02	0,47
ШД_Б	50	80	0,24	0,44	0,10	0,01	0,01	0,20	0,21	0,44	0,11	0,01	0,01	0,23
ШД_В	25	50	0,21	0,45	0,11	0,01	0,01	0,21	0,21	0,30	0,13	0,01	0,01	0,33
ШД_Г	10	25	0,18	0,42	0,15	0,01	0,01	0,23	0,17	0,44	0,15	0,01	0,01	0,22
ШД_Д	5	10	0,10	0,48	0,15	0,01	0,01	0,26	0,10	0,51	0,14	0,01	0,01	0,23
ШД_Е	1	5	0,13	0,20	0,00	0,01	0,05	0,61	0,00	0,23	0,00	0,01	0,02	0,65

ТАБЛИЦА 2. Среднесетевые значения весовых коэффициентов β_i для условий эксплуатации с железобетонными шпалами при различной грузонапряженности

Тип условий эксплуатации	Γ_{\min} по группе пути	Γ_{\max} по группе пути	Весовые коэффициенты β_i от Γ_{\min}						Весовые коэффициенты β_i от Γ_{\max}					
			ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В	ОВР	нС	нШ	Ш	Р	В
ШЖБ_ALL	5	110	0,23	0,35	0,00	0,01	0,01	0,40	0,27	0,40	0,00	0,01	0,01	0,31
ШЖБ_А	80	110	0,27	0,41	0,00	0,01	0,00	0,30	0,17	0,21	0,00	0,01	0,01	0,59
ШЖБ_Б	50	80	0,16	0,32	0,00	0,01	0,01	0,50	0,18	0,35	0,00	0,01	0,01	0,45
ШЖБ_В	25	50	0,20	0,32	0,01	0,01	0,01	0,44	0,29	0,35	0,01	0,01	0,01	0,35
ШЖБ_Г	10	25	0,12	0,32	0,01	0,01	0,01	0,53	0,16	0,38	0,01	0,01	0,01	0,44
ШЖБ_Д	5	10	0,14	0,43	0,00	0,01	0,01	0,42	0,19	0,39	0,01	0,00	0,01	0,40
ШЖБ_Е	1	5	0,04	0,45	0,01	0,01	0,01	0,49	0,05	0,54	0,00	0,00	0,01	0,40

В табл. 2, 3 представлено распределение долей затрат на устранение инцидентов по одиночному выходу рельсов (ОВР), замене негодных креплений (нС), негодных шпал (нШ), устранению отступлений по ширине колеи (Ш), в плане (Р), в профиле и по уровню (В). Данные сгруппированы для условий эксплуатации с деревянными (ШД) и железобетонными (ШЖБ) шпалами при различной грузонапряженности (ALL – участки всех групп, А, Б, В, Г, Д, Е).

Коэффициент экономического износа пути ($K_{эи}$) рассчитывается как

$$M_{\text{износа}}^{\text{экономич.}} = \frac{Z_{\text{прямые}}^{\text{ТС}}}{\left[Z_{\text{прямые}}^{\text{ТС}} \right]},$$

где $Z_{\text{прямые}}^{\text{ТС}}$ – фактические прямые затраты по обслуживанию рассматриваемого километра (участка) железнодорожного пути, руб./км в год; $\left[Z_{\text{прямые}}^{\text{ТС}} \right]$ – допустимые прямые затраты, руб./км в год.

ТАБЛИЦА 3. Критерии выбора управляющего воздействия по КИСП, $K_{ти}/K_{эи}$

Интервал КИСП	Интервал отношения $K_{ти}/K_{эи}$	Характеристика пути	Требуемое управляющее воздействие
0–0,75	0–2,0	Путь не исчерпал ресурса. Уровень расходов на ТС выше критических	Перераспределение затрат
	2,0–5,0	Путь не исчерпал ресурса. Следует сбалансировать затраты	Перераспределение затрат
	5,0 и более	Путь не исчерпал ресурса. Уровень расходов на ТС крайне недостаточен. Следует увеличить затраты	Увеличить затраты
0,75–1,0	0–3,0	Затраты близки к критическим при исчерпании технического ресурса. Необходим ремонт	Ремонт
	3,0–7,0	Путь близок к исчерпанию ресурса. Есть незначительный резерв для перераспределения затрат	Перераспределение затрат или ремонт
	7,0 и более	Затраты крайне малы в сравнении с уровнем технического износа. Необходимо увеличить затраты	Увеличить затраты
1,0 и более	Любое	Ресурс пути исчерпан. Путь имеет приоритет при назначении ремонта	Ремонт

Подходы к достижению целей технической эксплуатации могут быть различны: содержание пути с приемлемым уровнем безотказности до исчерпания ресурса элементов конструкции (методология УРРАН) или с минимальной ежегодной стоимостью технического обслуживания и ремонтов на протяжении всего жизненного цикла (методика оптимизации, [5]). В зависимости от выбранного подхода будут различаться допустимые прямые затраты. В рамках методологии УРРАН они со значительной достоверностью описываются восстановительным начислением (коэффициент экономического износа, рассчитанный по восстановительному начислению, является коэффициентом прямых расходов [5]).

На основе экспериментальных оптимизационных расчетов определены критерии КИСП для назначения капитального ремонта пути (табл. 3).

Сравнение практических расчетов потребности ремонтов пути

Для экспериментальной проверки методики технико-экономической оценки пути по КИСП использовали данные по планам потребности и проведения ремонта Октябрьской железной дороги. Всего проанализировано 2334 участка пути. По данным о состоянии всех участков из плана потребности в ремонтах был рассчитан КИСП. Результаты расчета сверяли с потребностью капитального ремонта по рекомендациям других коэффициентов и с планом проведения ремонтов в 2015 г.

Для установления связи между показателями использовали коэффициент достоверности аппроксимации. Его абсолютное значение показывает тесную связь между данными и позволяет сделать вывод о схожести физического смысла процессов, описываемых коэф-

фициентами. Анализ средних значений КИСП очень высоко коррелирует с $K_{НР}$, $R^2 = 0,9036$, и индексом потребности КР, $R^2 = 0,9692$. Анализ средних значений индекса потребности капитального ремонта показывает слабую связь с коэффициентом назначения ремонта, $R^2 = 0,4424$.

Поскольку результаты расчетов громоздки, в настоящей работе приведены краткие статистические итоги результатов расчета потребности в ремонтах по коэффициенту назначения капитального ремонта пути, КИСП и индексу потребности капитального ремонта (табл. 4).

Сравнение рекомендаций по назначению ремонтов пути показывает, что из 54 участков с потребностью ремонта по КИСП на 40 участках эта потребность диктуется высокими прямыми затратами ($K_{ЭИ}$ выше 0,5), на 14 – высоким техническим износом ($K_{ТИ}$ выше 1).

Анализ участков с потребностью ремонта по $K_{НР}$ показал, что по коэффициенту технического износа на 28 из них не выработан тех-

нический ресурс пути ($K_{ТИ} < 1,0$), а 21 участок пока не нуждается в ремонте пути (КИСП меньше значений критериев).

Для оценки качества рекомендаций критериев и фактических планов проведения ремонтов пути проанализировано распределение значений критериев по интервалам. Диапазоны значений коэффициентов, в которых лежат участки проведения ремонтов пути, приведены в табл. 5 и на рис. 2.

На графике хорошо видно, что несмотря на компактность отображения данных в диапазоне от 0,5 до 1,0 коэффициент назначения ремонта не отдает предпочтения участкам с максимальной потребностью в ремонте пути (на 13 участках проведения ремонта этот коэффициент равен 0,5). По индексу назначения КР ремонты запланированы без явно выраженного приоритета к участкам с наиболее интенсивным износом. В то же время, согласно критериям КИСП, большая часть участков либо исчерпала ресурс по критериям $[0,75; +\infty]$, либо имеет технико-экономический износ более 50% $[0,3; 0,75]$.

ТАБЛИЦА 4. Сравнение рекомендаций по назначению капитальных ремонтов пути

Условия сравнения	Количество участков в выборке по условиям сравнения для разных коэффициентов потребности капитального ремонта		
	По $K_{НР}$	По КИСП	По Индексу потребности КР
Потребность ремонта совпала с $K_{НР}$		33	30
Потребность ремонта совпала с КИСП	33		25
Потребность ремонта совпала с Индексом потребности КР	30	25	
Нужен ремонт по критерию назначения ремонта из полной выборки	149	54	128
Совпадений с планом проведения ремонтов	39	12	19
Не назначено ремонтов из числа	0	27	20

ТАБЛИЦА 5. Распределение участков проведения реконструкции/капитальных ремонтов пути по интервалам абсолютных значений коэффициентов назначения ремонтов

№ диапазона	Значение КНР	Значений	КИСП _{min}	КИСП _{max}	Значений в диапазоне min–max	Индекс _{min}	Индекс _{max}	Значений в диапазоне min–max	К _{ТИ min}	К _{ТИ max}	Значений в диапазоне min–max	К _{ЭИ min}	К _{ЭИ max}	Значений в диапазоне min–max
1	0	0	-0,01	0,18	0	0,00	0,31	4	0,00	0,33	9	-0,02	0,09	1
2	0,05	0	0,18	0,27	0	0,31	0,47	3	0,33	0,49	4	0,09	0,14	0
3	0,1	0	0,27	0,36	5	0,47	0,62	0	0,49	0,66	4	0,14	0,19	2
4	0,15	0	0,36	0,45	5	0,62	0,78	4	0,66	0,82	4	0,19	0,23	0
5	0,2	0	0,45	0,53	1	0,78	0,93	5	0,82	0,99	7	0,23	0,28	1
6	0,25	0	0,53	0,62	6	0,93	1,09	8	0,99	1,15	5	0,28	0,33	3
7	0,3	0	0,62	0,71	7	1,09	1,24	2	1,15	1,32	2	0,33	0,37	1
8	0,35	0	0,71	0,80	6	1,24	1,40	3	1,32	1,48	2	0,37	0,42	1
9	0,4	0	0,80	0,89	6	1,40	1,55	3	1,48	1,65	2	0,42	0,47	3
10	0,45	0	0,89	0,98	0	1,55	1,71	2	1,65	1,81	0	0,47	0,51	0
11	0,5	13	0,98	1,07	1	1,71	1,86	1	1,81	1,98	0	0,51	0,56	5
12	0,55	1	1,07	1,16	2	1,86	2,02	1	1,98	2,14	0	0,56	0,61	4
13	0,6	3	1,16	1,25	0	2,02	2,17	3	2,14	2,31	0	0,61	0,65	6
14	0,65	5	1,25	1,34	0	2,17	2,33	0	2,31	2,47	0	0,65	0,70	3
15	0,7	1	1,34	1,43	0	2,33	2,48	0	2,47	2,64	0	0,70	0,75	2
16	0,75	0	1,43	1,52	0	2,48	2,64	0	2,64	2,80	0	0,75	0,79	1
17	0,8	0	1,52	1,60	0	2,64	2,79	0	2,80	2,97	0	0,79	0,84	0
18	0,85	11	1,60	1,69	0	2,79	2,95	0	2,97	3,13	0	0,84	0,89	2
19	0,9	3	1,69	1,78	0	2,95	3,10	0	3,13	3,30	0	0,89	0,93	0
20	0,95	2	1,78	1,88	0	3,10	3,26	0	3,30	3,46	0	0,93	1,00	4
Итого:		39			39			39			39			39

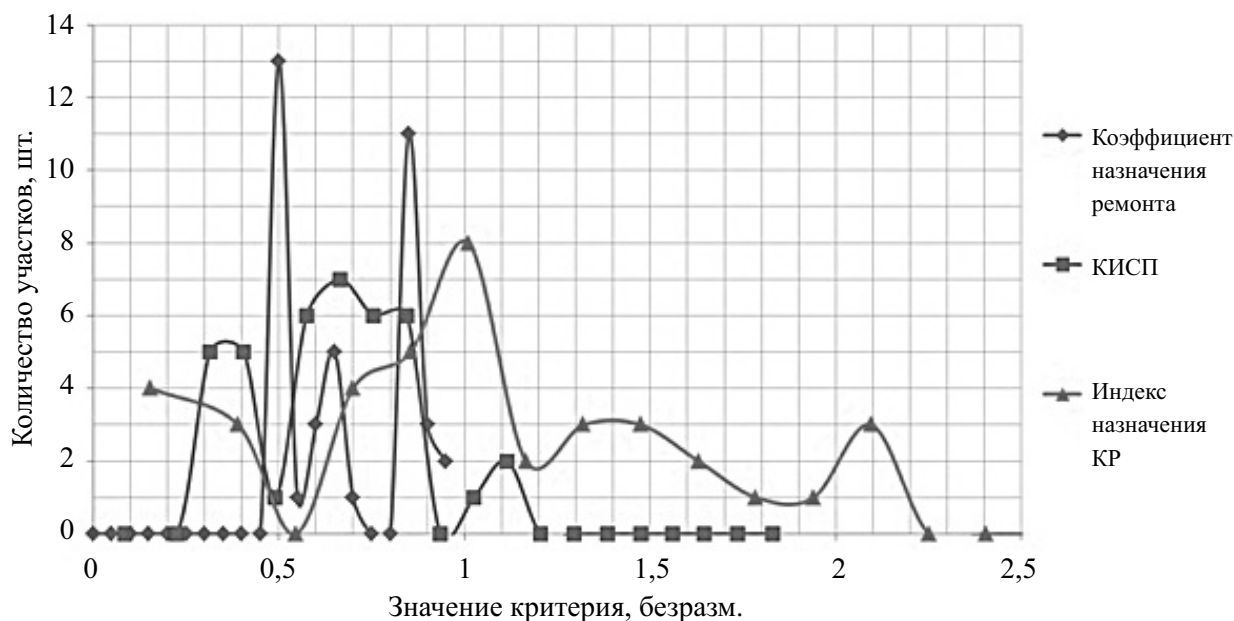


Рис. 2. Распределение участков из плана проведения реконструкции/капитального ремонта пути для разных коэффициентов потребности ремонта пути

Заключение

Решение оптимизационной задачи по выбору участков ремонта тем проще, чем меньше показателей используется при её решении. Важен практический смысл используемых показателей.

Интервальное описание технических показателей затрудняет ранжирование участков и из-за своего несовершенства повышает общий уровень износа инфраструктуры. Однако сегодня на практике для ремонта пути далеко не всегда отбираются участки с максимальными значениями коэффициентов потребности ремонта. Таким образом, по-прежнему актуален вопрос, какие участки требуют ремонта в первую очередь.

Вместе с тем следует помнить, что система планирования и проведения ремонтов всегда вынуждена функционировать в условиях ограниченности ресурсов (путеремонтных мощностей, ремонтного фонда), а подход к управлению путевым хозяйством по обеспечению максимально допустимого износа со сдерживаемым уровнем отказов не гарантирует минимум эксплуатационных расходов на этапе владения.

Оптимизация системы планирования ремонтов пути через комплексную технико-экономическую оценку как метод глобального оздоровления инфраструктуры является перспективным направлением развития путевого хозяйства. Своевременный ремонт на целевых участках – это залог сохранения состояния основных фондов при неизменности затрат, способный обеспечить резерв для совершенствования путевого хозяйства.

Библиографический список

1. Андреев А. В. Совершенствование методики прогнозирования развития остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути / А. В. Андреев, В. П. Бельтюков, А. А. Сеникова и др. // Изв. ПГУПС. – 2014. – Вып. 4 (41). – С. 16–21.
2. Бельтюков В. П. Оптимизация среднесрочных перспективных планов ремонтов железнодорожного пути / В. П. Бельтюков // Транспорт РФ. – 2011. – № 3 (34). – С. 71–74.
3. Бельтюков В. П. Прогнозирование и оптимизация затрат – основа планирования ремонтов / В. П. Бельтюков, И. А. Симонюк, А. В. Ан-

дреев // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 16–20.

4. Бельтюков В. П. Среднесрочное планирование работ по ремонту верхнего строения пути / В. П. Бельтюков // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 23–25.

5. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути (утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 75 р от 17.01.2013 г.). – М. : ОАО «РЖД», 2013.

References

1. Andreyev A. V., Beltyukov V. P., Sennikova A. A., Simonyuk I. A. & Tretyakov A. A. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2014, Is. 4 (41), pp. 16-21.

2. Beltyukov V. P. *Transport RF – Transp. Russian Federation*, 2011, no. 3 (34), pp. 71-74.

3. Beltyukov V. P., Simonyuk I. A. & Andreyev A. V. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 2014, no. 2, pp. 16-20.

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

5. *Tekhnicheskiye usloviya na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti* [Technical Conditions for Works on Reconstruction (Modernisation) and Repair of Railway Track]. Moscow, Russian Railways JSC, 2013.

ТРЕТЬЯКОВ Александр Александрович – аспирант, eskalran@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).