

УДК 625.172

В. П. Бельтюков

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СОДЕРЖАНИЯ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Дата поступления: 19.04.2016

Решение о публикации: 19.05.2016

Цель: Разработать методы оптимизации содержания железнодорожного пути на основе анализа изменения его технического состояния и затрат на его содержание. **Методы:** Применены методы системного анализа, теории управления, методологии оптимального управления. **Результаты:** Создана методика оптимизации системы содержания верхнего строения железнодорожного пути на основе достижения минимальной стоимости жизненного цикла конструкции. Сделан вывод, что решения по конструкции, техническому обслуживанию и ремонтам пути должны приниматься на основе анализа их влияния на стоимость жизненного цикла, а прогнозирование затрат на перспективу – опираться на общие закономерности изменения состояния пути и историю изменения состояния пути. **Практическая значимость:** Использование комплекса разработанных моделей и методик позволит повысить эффективность ведения путевого хозяйства, принимать оптимальные управленческие решения, минимизировать общие затраты на содержание пути.

Железнодорожный путь, путевое хозяйство, верхнее строение пути, техническое обслуживание, оптимизация содержания.

Vladimir P. Belyukov, Cand. Eng., assistant professor, bw@peterlink.ru (Petersburg State Transport University) OPTIMISATION OF MAINTENANCE SYSTEM FOR RAILWAY SUPERSTRUCTURE

Objective: To develop methods for optimisation of railway maintenance based on analysis of changes of its technical state and maintenance expenses. **Methods:** Methods of systemic analysis, management theory and optimal control were applied. **Results:** A method for optimisation of railway superstructure maintenance system was created, based on achieving minimal cost of structure life cycle. It was concluded that solutions regarding design, technical maintenance and track repairs should be made on the basis of analysis of their influence on life-cycle cost, and long-term expense forecast should be based on common patterns of changes in track condition and on history of changes in the track condition. **Practical importance:** Application of the set of models and methods developed would allow to increase efficiency of maintenance of track facilities, to make optimal managerial decisions, and to minimise general track maintenance expenses.

Railway track, track facilities, track superstructure, technical maintenance, maintenance optimisation.

Путевое хозяйство – одна из основных отраслей железнодорожного транспорта. На него приходится более половины основных фондов и 20–30% эксплуатационных расходов железных дорог. Высокий уровень затрат требует оптимизации системы управления путевым

хозяйством, поскольку в ней остается много нерешенных задач.

Первая проблема – неэффективность методик планирования путевых работ. В настоящее время для планирования ремонтов пути используются критерии, изложенные в в нормативных документах ОАО «РЖД» [11, 14], однако эта система планирования имеет ряд недостатков. Во-первых, критериев несколько, и они могут давать противоречивые варианты решений. Во-вторых, планы в ходе их выполнения значительно изменяются, так как техническое состояние пути не прогнозируется, а разнообразие эксплуатационных условий не учитывается. В связи с этим руководство инфраструктурного комплекса понимает, что необходимо изменить подход к планированию путевых работ [9].

Вторая проблема – накопленные данные о состоянии пути неэффективно используются при планировании. Без учета тенденций изменения состояния пути невозможно оценить расходы на его содержание и эффективность планов.

Третья проблема – недостаточная экономическая обоснованность решений. Например, для всех условий эксплуатации нормативы рекомендуют практически одни и те же конструкции пути.

Для создания методики оптимизации системы содержания верхнего строения железнодорожного пути необходимо решить следующие задачи:

- создать модели работы верхнего строения пути на этапах жизненного цикла, учитывающие технические и экономические факторы;
- выявить факторы, влияющие на изменение состояния пути и определить степень их влияния в рамках модели;
- определить оптимальную продолжительность жизненного цикла пути;
- оптимизировать стоимость жизненного цикла (СЖЦ).

Основы оптимизации разработаны в научных исследованиях работников кафедры «Железнодорожный путь» ПГУПС [2–5, 15].

Оптимизация системы содержания верхнего строения пути с применением теории стоимости жизненного цикла

Наиболее эффективный способ управления состоянием объектов – оптимизация СЖЦ. Для расчетов в качестве СЖЦ верхнего строения пути целесообразно принять период от одного капитального ремонта (реконструкции) до следующего [1]. Общая СЖЦ верхнего строения пути $S_{сжц}$ может быть выражена как сумма затрат на работы по ремонту пути, его текущее содержание и на последующую утилизацию верхнего строения пути в соответствии с методиками ОАО «РЖД» [6, 8, 10], при этом надо учитывать возвратную стоимость материалов и затраты в других хозяйствах, связанные с состоянием пути (предоставление «окон», ограничения скорости движения, на тягу поездов и ремонт подвижного состава).

Оптимальным считается решение, при котором выполняется условие минимума СЖЦ, отнесенного к продолжительности цикла t :

$$\frac{S_{сжц}}{t} = \min, \text{ руб./год.}$$

Принцип решения можно показать на примере (рис. 1). Угол наклона линий, соединяющих точки начала и конца цикла, соответствует годовым затратам на техническое обслуживание и ремонт. Наилучшим является вариант с минимальной СЖЦ, отнесенной к одному году. В приведенном примере – это вариант № 1.

Универсальная модель работы верхнего строения пути

Классическая модель нарастания отказов, использованная в УРРАН, состоит из трех периодов: приработки, нормальной эксплуатации и ухудшения состояния объекта. Считается, что при достижении предельного уровня интенсивности отказов следует выполнять ремонт. Но есть несколько факторов, в резуль-

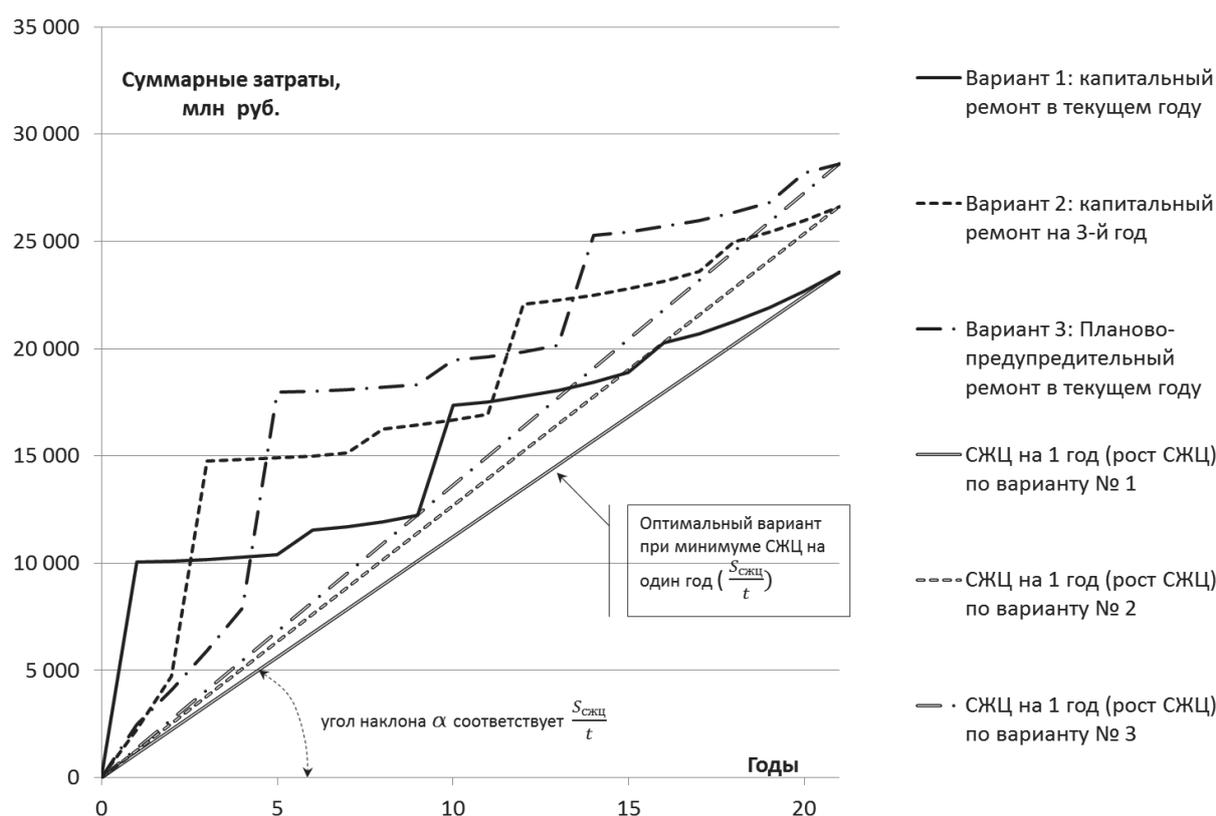


Рис. 1. Решение задачи оптимизации стоимости жизненного цикла для нескольких вариантов распределения ремонтов по годам. Ломаные линии показывают накопление расходов для каждого варианта по годам; прямые линии, соединяющие начало и конец периода, – нарастание стоимости жизненного цикла

тате действия которых вид этой зависимости для железнодорожного пути будет отличаться от классического:

1) конечность числа элементов, входящих в конструкцию пути. Интенсивность отказов и число отступлений не могут превысить некоторую величину (например, не может быть более 80 дефектных рельсов на 1 км при их длине 25 м);

2) уровень и качество текущего содержания. Если расходуются большие средства на текущее содержание, то уровень дефектности может стабилизироваться и даже снижаться. Но из низкого уровня дефектности нельзя делать вывод, что ремонта не требуется. Может быть, целесообразнее выполнить ремонт пути, чем тратить средства на его текущее содержание.

В ПГУПС для решения оптимизационных задач по содержанию железнодорожного пути

разработана технико-экономическая модель его работы на протяжении жизненного цикла [2, 3, 12, 13]. Она основывается на использовании законов распределения Вейбулла для описания поведения случайных величин. Эта модель учитывает нарастание объемов неисправностей и процессов восстановления верхнего строения пути, выделяет четыре этапа работы пути:

1) приработки (стабилизации) после ремонта, когда снижается интенсивность образования дефектов и отступлений от норм содержания по гиперболической зависимости;

2) нормальной эксплуатации, когда интенсивность образования дефектов стабилизируется на низком уровне, соответствующем потоку случайных неисправностей;

3) ухудшения состояния пути, когда нарастает интенсивность образования дефектов и

деформаций и одновременно увеличивается объем работ текущего содержания;

4) возможный этап стабилизации состояния пути в случае увеличения объемов планово-предупредительных работ текущего содержания. Состояние пути зависит от отношения интенсивности нарастания объемов отступлений и объемов работ текущего содержания пути и может как ухудшаться, так и стабилизироваться и даже улучшаться при высоких затратах на текущее содержание.

Таковыми же зависимостями можно описать изменения интенсивности не только отказов и неисправностей, но и объемов работ, а также затрат на работы текущего содержания пути между ремонтами.

Статистическая обработка данных показателей состояния пути по сети железных дорог, проведенная в ПГУПС, подтвердила вид этой зависимости. Причем чем ниже грузонапряженность участка, тем раньше (по наработке тоннажа) наступает период стабилизации состояния пути на одном уровне, и на малодоелятельных участках он может тянуться десятилетиями.

Определение влияния различных факторов на работу пути

Предварительно были классифицированы факторы с точки зрения их влияния на работу пути. Выделены следующие группы факторов:

- эксплуатационные (размеры, скорость и режим движения, вид тяги, спектр осевых нагрузок);
- природные (температурный режим, продолжительность зимы, толщина снежного покрова, продолжительность промерзания балласта и грунта);
- конструкционные (материал, тип и качество элементов верхнего строения, состояние земляного полотна, план и профиль пути);
- качество содержания ремонтов и текущего содержания пути.

Часть факторов влияет на максимальную наработку тоннажа, которую может пропу-

стить конструкция верхнего строения, часть других – на срок службы в годах. Если преобладают факторы, зависящие от интенсивности движения, то сроки службы и периодичность ремонта ограничиваются определенной наработкой (максимальным техническим ресурсом). Под действием природных факторов срок службы ограничивается определенным числом лет эксплуатации.

Для исследования влияния различных факторов на показатели технического состояния пути проведен статистический анализ технологических баз данных автоматических систем управления по сети дорог. Дорога была разделена на участки с одинаковыми конструкциями пути и условиями эксплуатации. По условиям эксплуатации выделены участки с различными:

- грузонапряженностью (группами пути);
 - долями пассажирских и пригородных поездов;
 - скоростями движения (категориями пути);
 - продолжительностью зимнего периода;
 - характеристиками плана и профиля.
- Также выделены участки с одинаковыми конструкциями пути, различающиеся:
- типом и качеством рельсов (Р50, Р65, Р75, термически упрочненные и сырые, новые и переложенные);
 - подрельсовым основанием (дерево, железобетон);
 - материалом балласта (щебень, асбест и др.);
 - видами скреплений (ДО, КД, АРС, КБ, ЖБР, W-30, P-350).

Построены среднесетевые зависимости следующих параметров состояния пути от тоннажа и сроков эксплуатации: одиночный выход рельсов, одиночная замена шпал, процент негодных скреплений, среднегодовое количество неисправностей, выявленных вагоном-путеизмерителем по всем видам отступлений. Получен массив параметров для зависимостей изменения состояния пути от наработки тоннажа, включающий более миллиона сочетаний. Назначение этого массива – прогнозировать изменение состояния пути в разных условиях.

Решение задачи определения оптимальной продолжительности жизненного цикла

Ожидаемая продолжительность жизненного цикла определяется по результатам оптимизационных расчетов из условия наступления предельного состояния, когда дальнейшая эксплуатация без капитального ремонта пути (модернизации, реконструкции) становится нецелесообразной. Это будет такая продолжительность цикла, при которой общая СЖЦ $S_{сжц}$, отнесенная к одному году службы t , минимальна:

$$S_{сжц} / t = f(t) / t = \min.$$

Минимум функции определяется из классического условия:

$$\frac{\partial(S_{сжц} / t)}{\partial(t)} = \frac{\partial(f(t) / t)}{\partial(t)} = 0.$$

Прогнозирование изменения технического состояния пути

Изменение состояния пути прогнозируется на основании анализа единой технологической базы данных АСУЖТ. Путь делится на участки разной протяженности – от нескольких пикетов до перегона – в зависимости от вида рассматриваемого ремонта.

В связи с тем, что данных по показателям состояния пути и затратам может быть недостаточно либо достоверность информации может быть невелика, разработана методика прогнозирования, сочетающая использование как местных, так и среднесетевых данных. Рис. 2 иллюстрирует порядок прогнозирования технического состояния пути на примере прогноза числа неисправностей в профиле и по уровню для отдельного перегона.

По фактическим значениям определяется тренд интенсивности нарастания объемов неисправностей за последние годы, по сред-

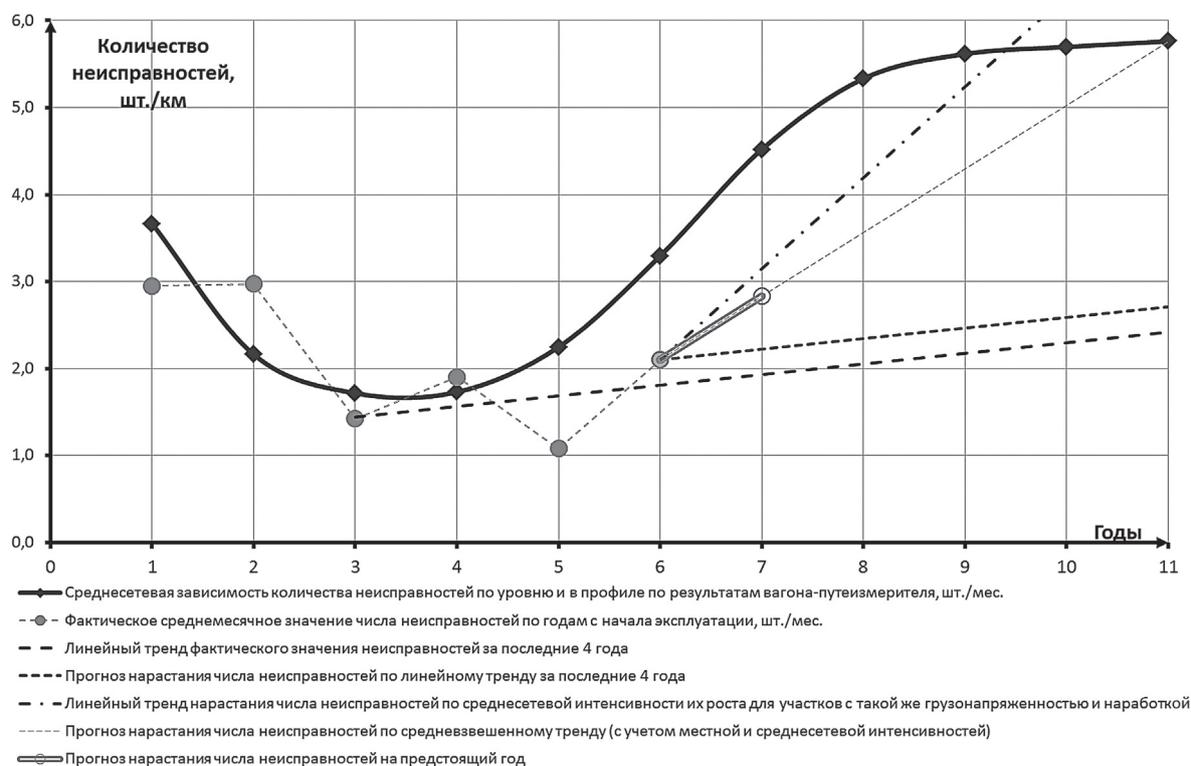


Рис. 2. Прогнозирование параметров состояния пути на основе сочетания среднесетевой зависимости и фактических данных о состоянии пути за предшествующий период

несетевой зависимости – тренд нарастания числа неисправностей для участков с такими же условиями эксплуатации и конструкцией. Прогноз нарастания числа неисправностей на предстоящий год определяется с учетом и среднесетевого, и местного трендов:

$$\Delta h = \Delta h_{\text{мест}} \gamma + \Delta h_{\text{ср}} (1 - \gamma),$$

где γ – доля учета местного тренда, может принимать значения от 0 до 1 и зависит от степени достоверности местных данных, определенной статистическими расчетами.

При прогнозировании затрат на работы текущего содержания улучшение показателей состояния пути после выполнения ремонта учитывается путем ввода коэффициентов снижения затрат. Коэффициенты снижения затрат показывают отношение затрат после и до ремонта:

$$K_{\text{рем-}i} = \frac{Z_2}{Z_1},$$

где Z_2 – затраты на работы текущего содержания пути после ремонта пути; Z_1 – до ремонта.

В ходе работы проанализированы среднесетевые отношения всех наблюдаемых параметров состояния пути до и после ремонтов, определена величина снижения затрат на текущее содержание пути после ремонтов. Так, после капитального ремонта коэффициент снижения затрат $K_{\text{рем}}$ составляет 0,430; после среднего – 0,490–0,610 (в зависимости от объема работ и глубины очистки); после планово-предупредительного – 0,732.

Методика оптимизации планов путевых работ через определение остаточного ресурса и использование индексов состояния пути

При прогнозировании технического состояния пути важным показателем является

так называемый остаточный ресурс. В соответствии с принятой ГОСТ терминологией, остаточный ресурс объекта – это суммарная наработка от момента контроля его состояния до перехода в предельное состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна [7, 10]. Таким образом, расчет остаточного ресурса должен основываться на расчетах надежности и экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации пути.

Остаточный ресурс может выражаться в наработке тоннажа (на участках с высокой грузонапряженностью), в сроке службы в годах (на малодейственных участках) или в доле ресурса в процентах.

Особенностью конструкции железнодорожного пути по сравнению с идеальным техническим объектом является то, что путь – многоэлементная конструкция, поэтому показатели надежности пути описываются сложными функциями, зависящими от состояния каждого элемента.

При последовательном соединении элементов вероятность отказов системы является суммой вероятностей отказов элементов, а при параллельном соединении элементов – произведением вероятности отказов. Верхнее строение пути можно рассматривать как сочетание последовательных и параллельных соединений, поэтому вероятность отказа может быть выражена как сочетание сумм и произведений вероятностей:

$$P_{\text{всп}} = \prod_{i=0}^{i=n} (P_i) = (P_1 + \dots + P_i) \times \\ \times (P_{i+1} + \dots + P_{i+k}) \dots (P_{m+1} + \dots + P_n),$$

где P_i – вероятность отказа или неисправности i -го элемента.

Полный ресурс исчерпывается при достижении некоторой критической суммы величины затрат на устранение отказов и затрат на плановые работы текущего содержания. Величина затрат пропорциональна объемам работ по устранению неисправностей, сле-

довательно, пропорциональна вероятности возникновения этих неисправностей.

В таком случае величина истощенного ресурса

$$T_{\text{исч}} = C \prod_{i=0}^{i=n} (v_i N_i),$$

где C – коэффициент пропорциональности для перевода доли истощения ресурса в наработку; v_i – коэффициент пропорциональности (весовой коэффициент), определяющий влияние фактора i на истощение ресурса верхнего строения; N_i – конкретный показатель состояния пути.

Тогда остаточный ресурс может быть определен как разница между полным и истощенным ресурсами:

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{полн}} - T_{\text{исч}} = T_{\text{полн}} - C \prod_{i=0}^{i=n} (v_i N_i).$$

Если вместо величины N_i (показателя состояния пути) применить доли истощения каждым показателем состояния пути его предела (в доле от $N_{\text{крит}}$ – предельной величины показателя, предусмотренного нормативами)

$$M_i = \frac{(N_i - N_{\text{крит}})}{N_{\text{крит}}},$$

то остаточный ресурс можно выразить формулой

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{полн}} - C \sum_{i=0}^{i=n} (\prod \mu_i M_i),$$

где C – коэффициент пропорциональности для перевода надежных показателей в наработку тоннажа; μ_i – весовой коэффициент, определяющий влияние фактора i на остаточный ресурс; M_i – доля истощения остаточного ресурса по отдельным показателям и элементам состояния пути.

При планировании ремонтов в качестве полного ресурса следует принимать такой ресурс, после достижения которого содержа-

ние пути без выполнения ремонта нецелесообразно. Это происходит, когда при продлении срока службы увеличивается общая СЖЦ, приходящаяся на один год службы. Для разработки оптимальных планов ремонта пути предложено пользоваться комплексным показателем P_j [15], представляющим собой долю истощения полного ресурса до достижения потребности в j -м виде ремонта пути, для которого определяется индекс:

$$P_j = \frac{T_{\text{исч}}}{T_{\text{полн}}} = \frac{C \sum_{i=0}^{i=n} (\prod \alpha_i N_i)}{T_{\text{полн}}}.$$

Заключение

Основной принятой решений в управлении состоянием верхнего строения пути должна быть оптимизация СЖЦ конструкции, позволяющая снизить общие затраты на его содержание.

Прогнозирование затрат должно опираться на закономерности изменения состояния пути и историю изменения состояния пути в прошлом. Прогноз следует основывать на технико-экономической модели работы верхнего строения пути согласно надежность-экономическим расчетам, учитывающим особенности верхнего строения как многоэлементной и восстанавливаемой конструкции.

Практическое прогнозирование показателей состояния пути должно учитывать как среднесетевые зависимости, так и историю изменения его состояния. Для прогнозирования состояния типовых конструкций и условий эксплуатации определены параметры среднесетевых зависимостей изменения показателей состояния пути. Для учета влияния различных конструкций пути, эксплуатационных условий и климатических факторов определены корректирующие коэффициенты.

Также расчетная продолжительность жизненного цикла верхнего строения пути должна определяться оптимизацией. Критерием оптимальности при решении этой задачи так-

же является стоимость жизненного цикла, отнесенная к одному году эксплуатации.

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.-методич. конф. – СПб. : ПГУПС, 2013. – С. 188–193.

2. Бельтюков В. П. Оптимизация затрат – основа планирования ремонтов / В. П. Бельтюков, И. А. Симонюк, А. В. Андреев, А. В. Сенникова // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 16–20.

3. Бельтюков В. П. Оптимизация системы содержания железнодорожного пути на основании прогнозирования изменения его состояния и затрат, связанных с его содержанием / В. П. Бельтюков // Путь XXI века : сб. науч. трудов III междунар. науч.-практич. конф., 20.02.2015. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 14–23.

4. Бельтюков В. П. Оптимизация среднесрочного планирования ремонтов железнодорожного пути / В. П. Бельтюков, И. А. Симонюк, А. В. Андреев // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 9. – С. 47–50.

5. Бельтюков В. П. Оптимизация среднесрочных перспективных планов ремонтов железнодорожного пути / В. П. Бельтюков // Транспорт РФ. – 2011. – № 3. – С. 71–74.

6. Гапанович В. А. На основе оптимизации стоимости жизненного цикла / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 6. – С. 26–34.

7. ГОСТ Р 55443-2013. Железнодорожный путь. Номенклатура показателей надежности и функциональной безопасности. – М. : Стандартинформ, 2013.

8. ГОСТ 27.0022-009. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2011.

9. Ермаков В. М. Новый подход к планированию путевых работ / В. М. Ермаков // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 49–50.

10. Методика составления расчетной модели жизненного цикла километра железнодорожного

пути (утв. вице-президентом ОАО «РЖД» В. А. Гапановичем 20.10.2012 г.).

11. Положение о системе ведения путевого хозяйства (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 02.05.2012 г. № 857 р).

12. Симонюк И. А. Модель работы верхнего строения железнодорожного пути с позиции понятия о процессе восстановления / И. А. Симонюк // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути : сб. науч. трудов междунар. науч.-практич. конф. – М. : МИИТ, 2013. – С. 221–223.

13. Симонюк И. А. Модель работы железнодорожного пути для прогнозирования технического состояния на этапе перспективного планирования / И. А. Симонюк // Путь XXI века : сб. науч. трудов междунар. науч.-методич. конф. – СПб. : ПГУПС, 2013. – С. 193–202.

14. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 г. № 75 р).

15. Третьяков А. А. Использование комплексного индекса состояния пути при определении потребности реконструкции и капитальных ремонтов / А. А. Третьяков // Изв. ПГУПС. – 2015. – Вып. 3 (44). – С. 207–215.

References

1. Andreyev A. V. Metodika opredeleniya stoimosti zhiznennogo tsikla konstruktсии puti s uchetom prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya puti [Method for Estimating the Cost of Life Cycle of Track Element Taking into Account Forecast of Technical Condition of the Track]. *Put XXI veka: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii (21st Century Track: Coll. Sci. Papers of the Int. Research and Methodology Conf.)*. St. Petersburg, PGUPS, 2013. Pp. 188-193.

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

3. Belyukov V. P. Optimizatsiya sistemy sodержaniya zheleznodorozhnogo puti na osnovanii prognozirovaniya izmeneniya yego sostoyaniya i zatrat, svyazannykh s yego sodержaniyem [Optimisation of

Railway Track Maintenance System Based on Forecasting Changes in Its Condition and Expenses on Its Maintenance]. *Put XXI veka: sbornik nauchnykh trudov III mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii (21st Century Track: Coll. Sci. Papers of the 3rd Int. Research and Methodology Conf.)*, May 20, 2015. St. Petersburg, PGUPS, 2015. Pp. 14-23.

4. Beltyukov V. P., Simonyuk I. A. & Andreyev A. V. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2013, no. 9, pp. 47-50.

5. Beltyukov V. P. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2011, no. 3, pp. 71-74.

6. Gapanovich V. A. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2013, no. 6, pp. 26-34.

7. GOST R 55443-2013. *Zheleznodorozhnyy put. Nomenklatura pokazateley nadezhnosti i funktsionalnoy bezopasnosti [Railway Track. Nomenclature of Safety Indices and Functional Safety]*. Moscow, Standartinform, 2013.

8. GOST 27.0022–009. *Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya [Technical Reliability. Terms and Definitions]*. Moscow, Standartinform, 2011.

9. Yermakov V. M. *Zheleznodorozhnyy transport – Railway Transport*, 2012, no. 10, pp. 49-50.

10. *Metodika sostavleniya raschetnoy modeli zhiznennogo tsikla kilometra zheleznodorozhnogo puti [Method for Compiling a Calculation Model of Life Cycle of a Single Kilometer of Railway Track]*, enacted by Russian Railways JSC from Oct. 20, 2012.

11. *Polozheniye o sisteme vedeniya putevogo khozyaystva [Regulation on Track Facilities Maintenance System]*, enacted by Russian Railways JSC from May 2, 2012.

12. Simonyuk I. A. *Model raboty verkhnego stroyeniya zheleznodorozhnogo puti s pozitsii ponyatiya o protsesse vosstanovleniya [Model of Operation of Railway Track Superstructure from the Position of Understanding Recovery Process]*. *Sovremennyye problemy proyektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Contemporary Issues in Design, Construction and Operation of Railway Track: Coll. Sci. Papers of the Int. Research and Practice Conf.)*. Moscow, MIIT, 2013. Pp. 221-223.

13. Simonyuk I. A. *Model raboty zheleznodorozhnogo puti dlya prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya na etape perspektivnogo planirovaniya [Railway Track Operation Model for Forecasting Technical Condition in Long-Term Planning Stage]*. *Put XXI veka: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii (21st Century Track: Coll. Sci. Papers of the Int. Research and Methodology Conf.)*. St. Petersburg, PGUPS, 2013. Pp. 193-202.

14. *Tekhnicheskiye usloviya na raboty po rekonstruktsii (modernizatsii) i remontu zheleznodorozhnogo puti [Technical Conditions for Operations in Reconstruction (Modernisation) and Repair of Railway Track]*, enacted by Russian Railways JSC from Jan. 18, 2013.

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

БЕЛЬТЮКОВ Владимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, bw@peterlink.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).