



УДК 625.172

**В. П. Бельтюков, А. В. Сенникова****ВЛИЯНИЕ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК НА ОДИНОЧНЫЙ ВЫХОД РЕЛЬСОВ**

Дата поступления: 19.04.2016

Решение о публикации: 23.05.2016

**Цель:** Выявить, применить и сравнить показатели интенсивности накопления одиночного выхода рельсов от пропущенного тоннажа под влиянием различных осевых нагрузок. **Методы:** Применялись сбор, анализ и обработка статистических данных, полученных из отчетной документации путейских подразделений по средствам автоматизированных систем управления АСУ-Путь. **Результаты:** Показана необходимость исследования одиночного выхода рельсов от пропущенного тоннажа при влиянии различных осевых нагрузок. На основе математической модели работы верхнего строения пути разработана методика оценки одиночного выхода рельсов. На основе анализа статистических данных определена численная среднесетевая величина коэффициентов и параметров, наиболее подходящих для одиночного выхода рельсов. Разработана методика определения средних осевых нагрузок на двухпутных участках железнодорожного пути с ярко выраженным различием грузопотоков в четном и нечетном направлениях. Для исследования одиночного выхода рельсов при влиянии различных осевых нагрузок двухпутные участки железнодорожного пути выбраны таким образом, чтобы по одному из путей преобладало движение тяжелых грузовых поездов, а по второму – порожних поездов. Построены зависимости одиночного выхода рельсов от пропущенного тоннажа на участках обращения подвижного состава со средними осевыми нагрузками 9,8 и 21,9 тонн на ось, произведен сравнительный анализ построенных зависимостей. **Практическая значимость:** По разработанной методике оценки одиночного выхода рельсов можно определять оптимальный срок службы рельсов в пути, объем работ при текущем обслуживании железнодорожного пути, а также назначать ремонты пути.

Железнодорожный путь, одиночный выход рельсов, пропущенный тоннаж, осевые нагрузки, интенсивность выхода рельсов, прогнозирование.

**Vladimir P. Belyukov**, Cand. Eng., assistant professor, [bw@peterlink.ru](mailto:bw@peterlink.ru); \***Anna V. Sennikova**, postgraduate student, [sennikova.anna.1988@mail.ru](mailto:sennikova.anna.1988@mail.ru) (Petersburg State Transport University) INFLUENCE OF AXIAL LOADING ON INDIVIDUAL RAIL DAMAGE

**Objective:** To determine, apply and compare variables of intensity of accumulation of individual rail damage from shipped tonnage under the influence of various axial loadings. **Methods:** Statistical data obtained from reporting documentation of track units operating ASU-Put automatic control systems was collected, analysed and processed. **Results:** The study demonstrated the need to study the dependency of individual rail damage from shipped tonnage under the influence of various axial loadings. On the basis of mathematical simulation of operation of track superstructure, a method for evaluation of individual rail damage was developed. On the basis of analysis of statistical data, numerical network-average value of coefficients and parameters that is most suitable for individual rail damage was identified. A method for calculation of average axial loads at double-track railway sections with pronounced difference in up-and-down train cargo flows was developed. For a study of individual rail damage under the influence of various axial loads double-track railway sections are selected so that traffic on one of the tracks consisted primarily of heavy freight trains, and on the other of unloaded trains. Dependencies of individual

rail damage from shipped tonnage at sections of circulation of rolling stock with average axial loads of 9.8 and 21.9 tonnes per axle were calculated, comparative analysis of obtained dependencies was undertaken. **Practical importance:** The method of evaluation of individual rail damage thus developed will allow to determine optimal service life for rails in the track, the volume of work in line maintenance, and to set track repairs.

Railway track, individual rail damage, shipped tonnage, axial loads, intensity of rail damage, forecasting.

Рельсы – самый металлоемкий элемент верхнего строения пути, поэтому даже незначительное увеличение срока службы рельсов дает большую экономию металла. В настоящее время идет поиск технических конструктивных и технологических решений, которые позволили бы увеличить срок службы железнодорожных рельсов [1].

Срок службы рельсов характеризуется наработкой тоннажа брутто, пропущенного по железнодорожному пути.

В настоящее время не учитывается влияние на срок службы рельсов осевых нагрузок, хотя их повышение снижает срок службы рельсов и увеличивает затраты труда на текущее содержание пути [4, 8, 12–15].

Частота приложения нагрузок от подвижного состава и величина осевых нагрузок существенно влияют на интенсивность одиночного выхода рельсов [2, 3, 11], поэтому необходимо разработать методику оценки одиночного выхода рельсов на участках с различными осевыми нагрузками.

Целью исследования является получение и использование показателей интенсивности накопления одиночного выхода рельсов при влиянии различных осевых нагрузок.

### Математическая модель одиночного выхода рельсов

В Петербургском государственном университете путей сообщения создана модель работы верхнего строения пути [5–7, 10], которая предусматривает четыре этапа работы верхнего строения пути:

1) приработки (стабилизации) после ремонта;

- 2) нормальной эксплуатации;
- 3) ухудшения состояния пути;
- 4) стабилизации состояния пути при большом объеме планово-предупредительных работ текущего содержания.

В этом случае зависимость, которая наиболее верно характеризует физическую сущность работы верхнего строения пути, имеет вид

$$\Omega(x) = B \frac{m}{t_0} x^{m-1} + C + A \times \left[ 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \right] \left( \frac{\eta}{\frac{x}{\beta} \ln(\eta) + 1} \right),$$

где  $\Omega(x)$  – интенсивность отказов;  $B$  – коэффициент, учитывающий наличие множества элементов в системе;  $m$  – параметр формы в период приработки;  $t_0$  – параметр масштаба в период приработки;  $x$  – пропущенный тоннаж, млн т брутто;  $C$  – фоновая интенсивность отказов, вызванных случайными факторами и не зависящая от пропущенного тоннажа;  $A$  – коэффициент при функции, которая описывает период стабильной работы пути и ухудшения состояния, учитывающий многоэлементность системы;  $\beta$  – параметр масштаба в период нормальной эксплуатации;  $\alpha$  – параметр формы в период нормальной эксплуатации;  $\eta$  – коэффициент полноты восстановления ресурса.

Таким образом, задача сводится к определению численных величин коэффициентов и параметров, наиболее подходящих для одиночного выхода рельсов.

Поскольку задачей было выявить только влияние осевых нагрузок на интенсивность

одиночного выхода рельсов, большая часть параметров зависимости определена на основе исследования статистических данных для всех условий эксплуатации сети железных дорог ОАО «РЖД» по базам данных АСУ-Путь, она соответствует среднесетевым значениям:  $B = 19,9$ ;  $m = 0,0288$ ;  $t_0 = 0,169$ ;  $C = 0,001$ ;  $A = 12,0$ ;  $\eta = 0,9$ .

При этом зависимость примет вид

$$\Omega(x) = 3,3912x^{-0,9712} + 10,8 \frac{\left[1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}\right]}{\frac{x}{\beta} \ln(0,9) + 1},$$

Следующий этап расчетов сводится к определению оставшихся параметров, характеризующих работу рельсов,  $\alpha$ ,  $\beta$  и к построению зависимости одиночного выхода рельсов от пропущенного тоннажа под влиянием различных осевых нагрузок.

### Выбор участков железнодорожного пути для анализа одиночного выхода рельсов

Ранее в ПГУПС был исследован одиночный выход рельсов в зависимости от грузонапряженности и скорости движения поездов [9]. Выяснилось, что с увеличением грузонапряженности или скорости движения поездов интенсивность одиночного выхода рельсов возрастала не всегда. Из этого был сделан вывод, что влияние осевых нагрузок на интенсивность одиночного выхода рельсов значительно больше, чем влияние скорости движения поездов и грузонапряженности.

Исследования одиночного выхода рельсов от пропущенного тоннажа с различными осевыми нагрузками осложняется тем, что в паспортных данных верхнего строения пути осевые нагрузки не учитываются, поэтому потребовалось разработать методику определения спектра осевых нагрузок. В основе этой методики рассматривались два типа участков

железнодорожного пути с различным спектром нагрузок: по одному пути преобладает движение тяжелых грузовых поездов, по второму – порожних поездов.

Для выявления величины осевых нагрузок выбрали 12 двухпутных участков (рис. 1), на которых ярко выражено различие грузопотоков в четном и нечетном направлениях: Буй – Киров, Москва – Юдино, Юдино – Екатеринбург, Бекасово-Сорт. – Яганово, Яганово – Воскресенск, Самара – Челябинск, Челябинск – Карбышево, Новообразцовое – Самара, Тайшет – Иркутск, Иркутск – Чита, Чита – Хабаровск, Хабаровск – Владивосток. Осевую нагрузку для каждого пути участка определяли по формуле

$$P_i = \frac{\Gamma_i}{\Gamma_{\text{cp}}} P_{\text{cp}},$$

где  $P_i$  – осевая нагрузка для  $i$ -го пути, тонн на ось;  $\Gamma_i$  – грузонапряженность пути, для которого определяется осевая нагрузка, млн ткм брутто на км в год;  $\Gamma_{\text{cp}}$  – средняя грузонапряженность на рассматриваемом участке, млн ткм брутто на км в год;  $P_{\text{cp}}$  – средняя осевая нагрузка, тонн на ось.

Для анализа и построения графиков одиночного выхода рельсов участки были разбиты на целые километры. В расчеты вошли только те километры, на всем протяжении которых эксплуатационные и конструктивные характеристики одинаковы:

- исключались километры, расположенные на станциях, так как на станционные километры попадают неисправности стрелочных переводов, что искажает анализ одиночного выхода рельсов;
- исключались километры, на которые попадали круговые кривые: для анализа круговых кривых необходима более детальная разбивка пути (по пикетам);
- исключались километры, на которых расчетный срок службы (отношение пропущенного тоннажа и грузонапряженности) и фактический срок службы (разность текущего года и года последнего капитального ремонта

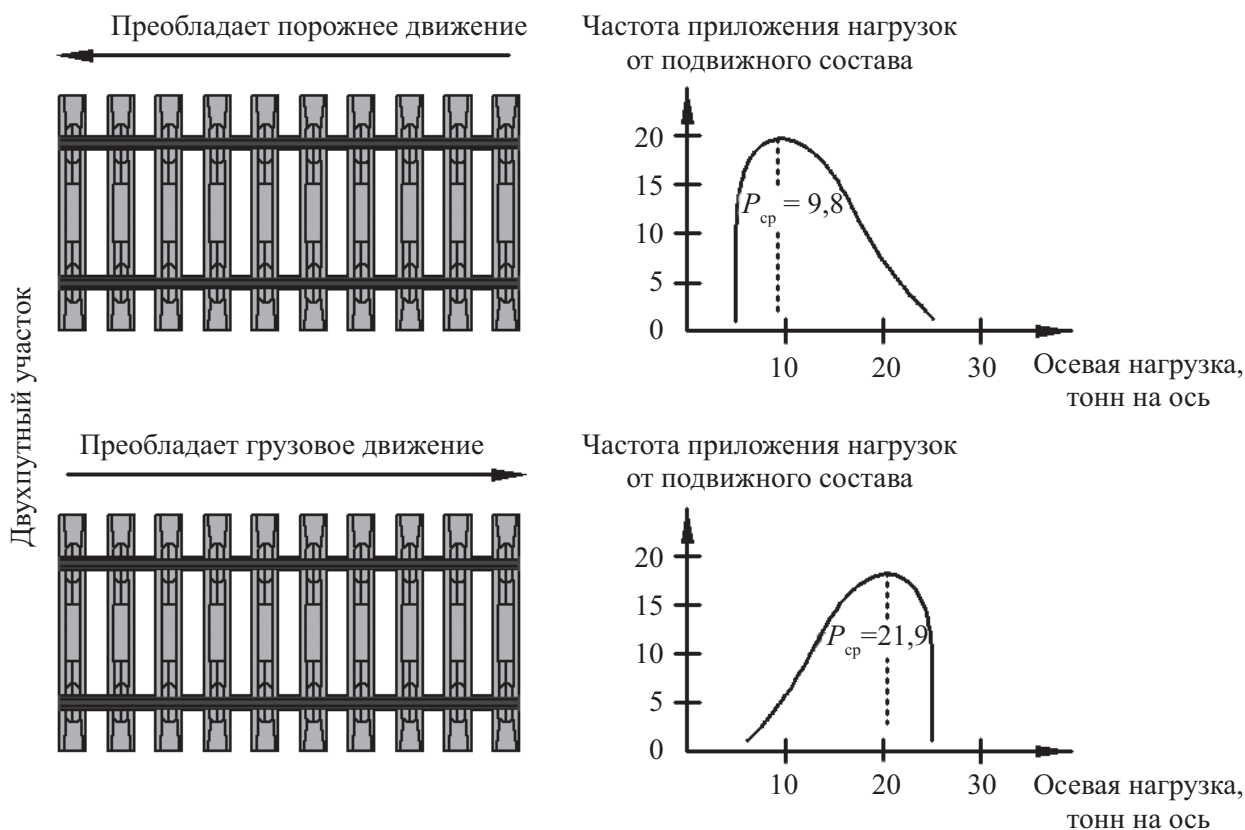


Рис. 1. Двухпутные участки с ярко выраженным различным грузопотоком

пути) различаются больше чем в 3 раза. Это объясняется тем, что на этих километрах грузонапряженность резко возросла или упала (изменились условия эксплуатации), поэтому данные не будут описывать точную интенсивность одиночного выхода рельсов;

- принимались в расчет километры только с новыми рельсами производства Новокузнецкого металлургического комбината типа Р65 с качеством термоупрочнения Т1 с приведенным износом 0–12 мм и без бокового и волнообразного износа. У переложенных рельсов неизвестны условия эксплуатации до переукладки, а значит, и природа их дефектов;

- принимались в расчет километры только с новыми железобетонными шпалами с типом креплений КБ, с щебеночным балластом толщиной от 35 мм и более, и с бесстыковой конструкцией пути, чтобы исключить влияние посторонних факторов на одиночный выход рельсов.

Итого для расчета было выбрано 2238 км.

### Результаты анализа одиночного выхода рельсов

Результаты исследования одиночного выхода рельсов от пропущенного тоннажа со средними осевыми нагрузками 9,8 и 21,9 тонн на ось показаны на рис. 2. Видно, что интенсивность одиночного выхода рельсов на участках с осевыми нагрузками 21,9 и 9,8 тонн на ось до наработки тоннажа 400 млн т брутто на одном уровне, а затем на участках с осевыми нагрузками 21,9 тонн на ось возрастает в 3,15 раза по сравнению с нагрузкой 9,8 тонн на ось.

### Заключение

Разработана методика определения средних осевых нагрузок на участках с ярко выра-

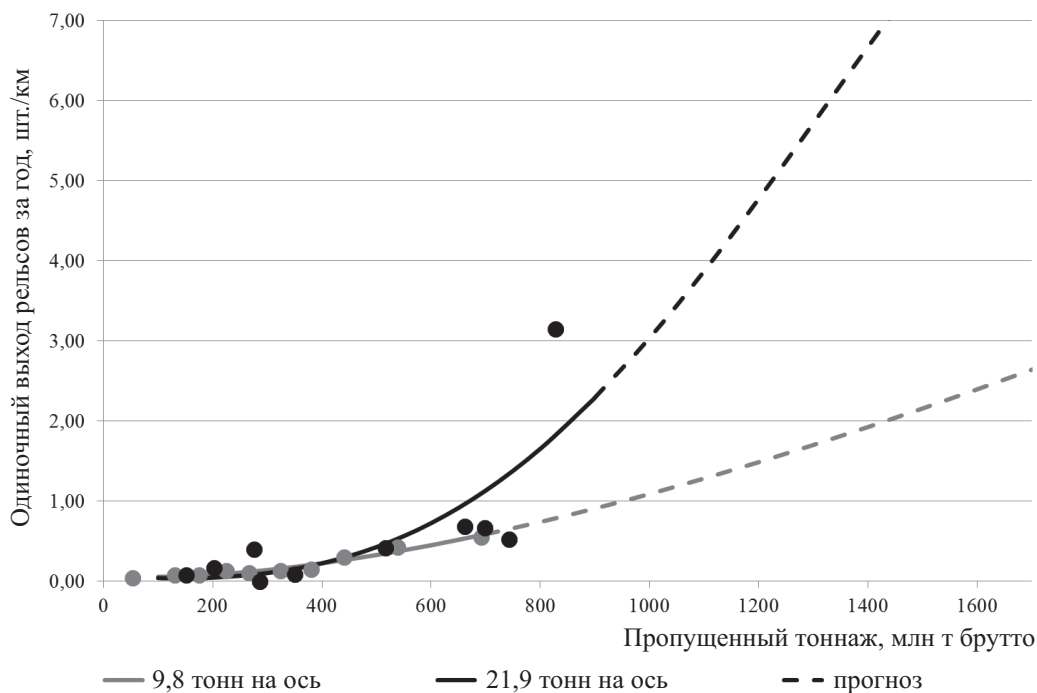


Рис. 2. Одиночный выход рельсов в зависимости от пропущенного тоннажа

женными различиями грузопотоков в четном и нечетном направлениях.

На основании созданной математической модели работы верхнего строения пути проанализирован одиночный выход рельсов на участках с различными осевыми нагрузками. Анализ показал превышение роста одиночного выхода рельсов на участках обращения вагонов с высокими осевыми нагрузками более чем в 3 раза после наработки тоннажа свыше 400 млн т брутто.

Результаты исследования могут быть использованы при оценке ресурса железнодорожных рельсов в условиях обращения подвижного состава с высокими осевыми нагрузками.

### Библиографический список

1. Абдурашитов А. Ю. О разработке комплекса мер по реализации требований стратегии развития ОАО «РЖД» в части повышения срока службы пути до 1,5 млрд т брутто к 2015 г. и 2,5 млрд т брутто к 2030 г. при обеспечении безопасности движения

и минимизации стоимости жизненного цикла конструкции пути / А. Ю. Абдурашитов // Проблемы трансфера современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт : материалы международной научно-практической конференции, 13–14 окт. 2011 г., г. Чита. – Чита: ЗаБИЖТ, 2011. – С. 69–87.

2. Алехин А. Л. Прогнозирование одиночного выхода рельсов, сваренных алюминотермитным способом / А. Л. Алехин, Л. С. Блажко, Н. С. Никеров // Изв. ПГУПС. – 2010. – Вып. 2 (23). – С. 51–55.

3. Аманова М. В. Оценка суммарного одиночного выхода рельсов при обращении по ним разнотипного подвижного состава / М. В. Аманова // Промышленный транспорт Казахстана. – 2012. – № 3. – С. 14–18.

4. Амелин С. В. Интенсивность накопления остаточных деформаций пути при воздействии вагонной нагрузки 250 кН/ось / С. В. Амелин, Л. С. Блажко, М. П. Смирнов, В. И. Смирнов ; Ленингр. ин-т инж. ж.-д. трансп. – Л., 1982. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 30.08.82. № 1797-жд.

5. Бельтюков В. П. Планирование ремонтов пути в условиях интенсивной его эксплуатации : дис. ...

канд. тех. наук : 05.22.06 / В. П. Бельтюков. – Л. : ЛИИЖТ, 1990. – 275 с.

6. 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.-практич. конф. 2 июня 2011 г., Санкт-Петербург / под ред. проф. Л. С. Блажко. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – 2012. – С. 25–32.

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

8. Блажко Л. С. Техничко-технологическая оценка усиления конструкции пути на участках обращения подвижного состава с осевыми нагрузками до 300 кН : дис. ... д-ра тех. наук : 05.22.06 / Л. С. Блажко. – СПб., 2003. – 331 с.

9. Сенникова А. В. Влияние скорости движения поездов на одиночный выход рельсов в пути / А. В. Сенникова // Путь XXI века : сб. науч. трудов междунар. науч.-практич. конф. 14–15 фев. 2013 г., Санкт-Петербург / под ред. проф. Л. С. Блажко. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – 2013. – С. 42.

10. Симонюк И. А. Прогнозирование интенсивности накопления остаточных деформаций верхнего строения железнодорожного пути для среднесрочного планирования путевых работ : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.06 / И. А. Симонюк. – СПб., 2014. – 147 с.

11. Сухов И. Ф. Оценка влияния повышения осевых нагрузок вагонов на долговечность рельсов / И. Ф. Сухов, Г. И. Тарнопольский // Механика деформируемого тела и расчет сооружений. – Новосибирск : НИИЖТ, 1980. – С. 21–29.

12. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь : учеб. для вузов / Г. М. Шахунянц. – 3-е изд. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

13. Шахунянц Г. М. О сроках службы рельсов / Г. М. Шахунянц // Путь и путевое хозяйство. – 1971. – № 10. – С. 15–18.

14. Шахунянц Г. М. Работа пути и расходы на его содержание / Г. М. Шахунянц // Сб. науч. тр. МИИТ. – Вып. 491. – М., 1976. – С. 3–67.

15. Шахунянц Г. М. Техничко-экономические расчеты в путевом хозяйстве железных дорог / Г. М. Шахунянц. – М. : Трансжелдориздат, 1939. – 242 с.

## References

1. Abdurashitov A. Yu. O razrabotke kompleksa mer po realizatsii trebovaniy strategii razvitiya OAO RZhD v chasti povysheniya sroka sluzhby puti do 1,5 mlrd t brutto k 2015 g. i 2,5 mlrd t brutto k 2030 g. pri obespechenii bezopasnosti dvizheniya i minimizatsii stoimosti zhiznennogo tsikla konstruktii puti [On Development of a Set of Measures for Realisation of Requirements of Russian Railways JSC Development Strategy Regarding Increasing Term of Track Service to 1.5bn t Total Weight by 2015 and to 2.5bn t Total Weight by 2030 Whilst Ensuring Traffic Safety and Minimising Cost of Track Element Life Cycle]. *Problemy transferta sovremennykh tekhnologiy v ekonomiku Zabaykalya i zhelezodorozhnyy transport: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Problems of Transferring Modern Technologies into Transbaikal Territory Economics and Railway Transport: Papers of Int. Research and Practice Conf.)* Oct. 13–14, 2011, Chita, Transbaikalia Railway Transport Institute. Chita, ZabIZhT, 2011. Pp. 69–87.

2. Alekhin A. L., Blazhko L. S. & Nikerov N. S. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2010, Is. 2 (23), pp. 51–55.

3. Amanova M. V. *Promyshlennyy transport Kazakhstana – Industrial Transport of Kazakhstan*, 2012, no. 3, pp. 14–18.

4. Amelin S. V., Blazhko L. S., Smirnov M. P. & Smirnov V. I. Intensivnost nakopleniya ostatochnykh deformatsiy puti pri vozdeystvii vagonnoy nagruzki 250 kN / os [Intensity of Accumulation of Permanent Track Deformations under the Influence of Carriage Burden of 250 kN / axle], Leningrad Railway Transp. Eng. Inst. Lenngrad, 1982.

5. Belyukov V. P. Planirovaniye remontov puti v usloviyakh intensivnoy yego ekspluatatsii [Planning for Track Repairs under Conditions of Its Intense Operation]. Leningrad, LIIZhT, 1990. 275 p.

6. Belyukov V. P. Razrabotka metodik prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya puti, zatrat na soderzhaniye puti i optimizatsii soderzhaniya puti po

ekonomicheskim kriteriyam [Development of Methods for Forecasting Technical Condition of the Track, Track Maintenance Expenses and Optimisation of Track Maintenance by Economic Criteria]. *Put XXI veka: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (21<sup>st</sup> Century Track: Coll. Sci. Papers of the Int. Research and Practice Conf.)*. Jun. 2, 2011, St. Petersburg; ed. L. S. Blazhko. St. Petersburg, Petersburg Transp. Univ., 2012. Pp. 25-32.

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

8. Blazhko L. S. Tekhniko-tekhnologicheskaya otsenka usileniya konstruksii puti na uchastkakh obrashcheniya podvizhnogo sostava s osevyimi nagruzkami do 300 kN [Technical and Technological Evaluation of Strengthening of Track Design at Sections where Rolling Stock with Axial Loads of up to 300 kN Operates]. St. Petersburg, 2003. 331 p.

9. Sennikova A. V. Vliyaniye skorosti dvizheniya poyezdov na odinochnyy vykhod relsov v puti [Influence of Train Movement Speed on Individual Rail Damage on the Track]. *Put XXI veka: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (21<sup>st</sup> Century Track: Coll. Sci. Papers of the Int. Research and Practice Conf.)*. Feb. 14–15, 2013, St Petersburg; ed. L. S. Blazhko. St Petersburg, Petersburg Transp. Univ., 2013. Pp. 42.

10. Simonyuk I. A. Prognozirovaniye intensivnosti nakopleniya ostatochnykh deformatsiy verkhnego stroyeniya zheleznodorozhnogo puti dlya srednesrochnogo planirovaniya putevykh rabot [Forecasting Intensity of Accumulation of Permanent Deformations of Railway Track Superstructure for Mid-Term Planning of Track Works]. St. Petersburg., 2014. 147 p.

11. Sukhov I. F. & Tarnopolskiy G. I. Otsenka vliyaniya povysheniya osevykh nagрузок vagonov na dolgovechnost relsov [Evaluation of Influence of Increasing Carriage Axial Loads on Rail Longevity]. *Mekhanika deformiruyemogo tela i raschet sooruzheniy (Mechanics of Deformed Body and Structure Calculations)*. Novosibirsk, NIIZhT, 1980. Pp. 21-29.

12. Shakhunyants G. M. Zheleznodorozhnyy put: uchebnik dlya vuzov [Railway Track: Univ. Course Book]. Moscow, Transport, 1987. 479 p.

13. Shakhunyants G. M. *Put i putevoye khozyaystvo – Track and Track Facilities*, 1971, no. 10, pp. 15-18.

14. Shakhunyants G. M. Rabota puti i raskhody na yego sodержaniye [Track Operation and Expenses on Its Maintenance]. Moscow, 1976. Pp. 3-67.

15. Shakhunyants G. M. Tekhniko-ekonomicheskiye raschety v putevom khozyaystve zheleznykh dorog [Technical and Economic Calculations in Railway Track Facilities]. Moscow, Transzhedorizdat, 1939. 242 p.

БЕЛЬТЮКОВ Владимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, bw@peterlink.ru \*СЕННИКОВА Анна Владимировна – аспирант, sennikova.anna.1988@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).