

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.151.812

EDN: <https://elibrary.ru/lrlsas>

Научная специальность: 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог



Конструкции контррельсовых узлов с увеличенным ресурсом для перспективных стрелочных переводов

М. Е. Березовский✉

Новосибирский стрелочный завод (АО «НЗ»),
Новосибирск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из конструктивных элементов современных стрелочных переводов, который требует увеличения ресурса, является контррельсовый узел. Воздействие колес железнодорожного подвижного состава на контррельсы вызывает высокие изгибные напряжения в элементах крепления к опорам — контррельсовым опорным подкладкам. Статья посвящена проводимым в настоящее время конструктивным и опытным разработкам по увеличению ресурса контррельсовых опорных подкладок.

Материалы и методы. Расчеты прочности подкладок выполнены на основе математического моделирования. Верификация моделей проведена путем прямых динамико-прочностных испытаний контррельсовых подкладок в эксплуатируемом стрелочном переводе. Ресурс подкладок определялся путем усталостных расчетов и с помощью непосредственного наблюдения за работой подкладок в составе эксплуатируемых стрелочных переводов.

Результаты. Разработана улучшенная конструкция опорных элементов контррельсовых узлов стрелочных переводов — подкладок с упором. Опытные образцы подкладок апробированы непосредственно в составе стрелочных переводов, работающих в условиях повышенных нагрузок подвижного состава. Результаты испытаний показали хорошую сходимость примененных методик моделирования с практикой эксплуатации и положительный результат повышения ресурса крестовинных узлов.

Обсуждение и заключение. Разработанную улучшенную конструкцию крепления контррельсов к опорам предлагается использовать при конструировании новых образцов стрелочной продукции. Подход и методики разработки целесообразно использовать при конструировании элементов новых стрелочных переводов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный путь, стрелочные переводы, контррельсовые узлы, конструкции подкладок, подкладки с упором, моделирование, напряжения, расчеты прочности, ресурс

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Березовский М. Е. Конструкции контррельсовых узлов с увеличенным ресурсом для перспективных стрелочных переводов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 42–50.

TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 625.151.812

EDN: <https://elibrary.ru/lrlsas>

Scientific specialty: 2.9.2. Railway track, survey and design of railways



Counterrail design with increased service life for advanced turnout switches

Mikhail E. Berezovskii✉

Novosibirsk Switch Plant,
Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Counterrail is one of the constructive elements of modern turnout switches, which requires increased service life. The impact of railway rolling stock wheels on the counterrails causes high bending stresses in the elements of attachment to the counterrail pads with stop blocks. The article is devoted to the currently ongoing design and development of counterrail support rail pads.

Materials and methods. The strength calculations of the rail pads are based on mathematical modelling. Verification of models is carried out by direct dynamic-strength tests in the way of counterrail linings in the operated cross-link railway track. The durability of the rail pads was determined by fatigue calculations and direct observation of rail pads in the turnout switches.

Results. The improved design of the support elements of the counterrail axles of the hinged linkage, such as rail pads with stop block was developed. The experimental samples of the backings are tested directly in combination with the turnout switches operating under increased loads of railway rolling stock. The test results showed good similarity of applied methods with the practice of operation and positive result of increase of service life of cross-link units.

Discussion and conclusion. The developed construction of the counterrails fastening to the rail guard support is proposed for use in the design of new samples of switch products. The approach and methodology of development is practical to use in the construction of elements of new turnout switches.

KEYWORDS: railway track, turnout switches, counterrails, rail pad constructions, rail pads with stop block, modelling, stress, strength analysis, service life

FOR CITATION: Berezovskii M.E. Counterrail design with increased service life for advanced turnout switches. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):42–50. (In Russ.).

Введение. Современные стрелочные переводы работают в условиях интенсивного динамического воздействия подвижного состава. Напряженно-деформированное состояние их элементов определяет их работоспособность и ресурс [1–4]. Контррельсы стрелочных переводов являются важнейшей частью конструкции, обеспечивающей безопасность прохода подвижного состава через их крестовинную зону. Их основная функция — направлять колесные пары в желоб крестовины, обеспечивающий движение экипажа в заданном направлении. В современных стрелочных переводах в качестве контррельсов используются специальные элементы, которые изготавливают из прокатных спецпрофилей и крепят к опорам с помощью подкладок с упором (контррельсовых башмаков). Совершенствованию конструкции и технологии изготовления контррельсовых узлов уделяется повышенное внимание. Были предложены новые конструкции контррельса [5] и его профиля [6, 7], конструкции подкладок [8, 9]. Выполнено расчетное исследование прочности новых подкладок, при этом нагрузки были определены опытным путем для стандартной подкладки [10].

Контррельсовые узлы испытывают большие нагрузки из-за действия горизонтальных поперечных сил, возникающих при сдвигах колесных пар в желобах. В среднем каждая третья колесная пара, проходящая по стрелочному переводу, взаимодействует с контррельсом. Силы, действующие на контррельс, передаются на опорные части контррельсового узла, вызывая в них высокий уровень изгибных напряжений. В результате по мере наработки в опорных элементах возникают усталостные трещины, которые, развиваясь, приводят к изломам подкладок. На рис. 1 приведены данные по вероятности безотказной работы контррельсовых узлов стрелочных переводов (контррельсов и подкладок с упором, обеспечивающих их

прикрепление к опорам) $R(t)$ в зависимости от наработки, полученные из наблюдений за работой стрелочных переводов на дорогах Сибирского региона.

Зависимости, приведенные на рис. 1, построены не по всем стрелочным переводам, за которыми велось наблюдение, а только по тем, на которых возникли отказы контррельсовых узлов, требующие их замены (всего 347 отказов). Поэтому зависимости следует считать условными [11]. Тем не менее, из данных, приведенных на рис. 1, наглядно видно, что вероятность безотказной работы подкладок ниже, чем у контррельсов на протяжении всего периода работы в железнодорожном пути, то есть отказы подкладок с упором ограничивают работоспособность узла в целом.

Целью работы является разработка улучшенной конструкции подкладки с упором, исходя из требований увеличения прочности при сохранении системы ограничений — граничных условий и размеров, определяющих расположение подкладки с контррельсовым упором на крестовинном узле стрелочного перевода, материала и технологических возможностей заводов-изготовителей стрелочной продукции.

Материалы и методы. В настоящей работе был установлен характер нагружения подкладок с упором — циклический, знакопеременный.

При монтаже стрелочного перевода в путь и сборке его узлов от действия крепежителей в верхних кромках подкладок возникают растягивающие напряжения закрепления — σ_m .

Под действием проходящего подвижного состава на монтажные напряжения от закрепления накладываются циклические напряжения σ_g противоположного знака. Общие напряжения σ_i , возникающие при прохождении i -того колеса над подкладкой, определяются как алгебраическая сумма монтажных напряжений и напряжений от поездной нагрузки σ_{gi} :

$$\sigma_i = \sigma_m + (-\sigma_{gi}). \quad (1)$$

За цикл нагружения напряжения в подкладке изменяются от σ_m до σ_i . Коэффициент асимметрии цикла нагружения $r_i = \sigma_{gi}/\sigma_m$ с учетом (1) составит $r_i = 1 - \sigma_{gi}/\sigma_m$.

Число циклов до излома подкладки N_i определится по кривой усталостной прочности:

$$N_i = \begin{cases} N_0(\sigma_{ri}/\sigma_i)^m, & \text{при } \sigma_i \geq \sigma_{ri}, \\ \infty, & \text{при } \sigma_i < \sigma_{ri}, \end{cases} \quad (2)$$

где σ_{ri} — предел длительной выносливости подкладки при циклах нагружения с максимальной величиной напряжений σ_i и асимметрией цикла r_i ; N_0 и m — характеристики кривой усталостной прочности: N_0 — базовое число циклов; m — показатель наклона кривой усталости.

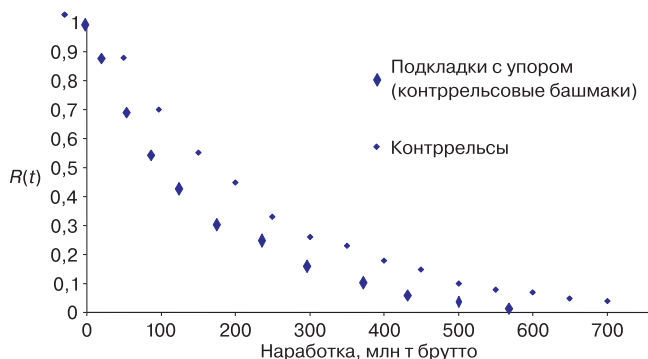


Рис. 1. Условная вероятность безотказной работы контррельсов и подкладок с упором (контррельсовых башмаков)*

* Источник: разработан авторами

Fig. 1. Conditional probability of trouble-free operation of countertrails and rail pads with stop block (countertrail drag shoes)*

* Source: developed by the author

Напряжение σ_r может быть выражено через предел длительной выносливости при симметричном цикле нагружения σ_{-1} с помощью коэффициента асимметрии цикла [12]:

$$\sigma_r = \sigma_{-1} \sqrt{2 / (1 - r)}. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в формулу (1) для «повреждающих» циклов нагружения, получим

$$N_i = \left[\frac{\sqrt{2\sigma_{gi}}}{\sigma_3} / (\sigma_3 - \sigma_{gi}) \right]^m (\sigma_{-1})^m N_0, \quad (4)$$

где σ_3 — напряжения от закрепления подкладки.

При известных параметрах материала, из которого изготовлена подкладка σ_{-1} , и параметрах усталостной зависимости N_0 и m из выражения (4) можно определить число циклов до излома подкладки в зависимости от монтажных растягивающих напряжений закрепления σ_m и изменения напряжений под поездной нагрузкой σ_{gi} . Поскольку при прохождении поездной нагрузки в подкладке могут возникать различные циклы нагружения, то общее число циклов до излома подкладки следует определять с учетом накопления повреждений за каждый цикл.

Существует несколько теоретических подходов к анализу накопления повреждений при циклическом нагружении с циклами, имеющими различные характеристики. Одним из распространенных способов является метод суммирования повреждений [13]. В соответствии с этим подходом выражение для общего числа циклов до излома подкладки n_0 будет иметь вид

$$n_0 = 1 / \int_{\sigma_{пов}} \frac{dn_0}{N}; \quad (5)$$

$$dn_0 = -p(\delta\sigma) \cdot d\sigma_g, \quad (6)$$

где $\sigma_{пов}$ — повреждающие напряжения; $p(\delta\sigma) = p(\sigma_m - \sigma_g)$ — плотность вероятности возникновения результирующих напряжений, равных $(\sigma_m - \sigma_g)$ от монтажа и поездной нагрузки; N — общее число циклов при испытаниях.

Суммирование (интегрирование) ведется по всем циклам, напряжения в которых являются повреждающими (выше предела длительной выносливости) [14]. Дифференциал dn_0 является функцией от плотности вероятности возникновения цикла с напряжениями σ_r , которую можно определить, используя распределение напряжений, получаемых от поездной нагрузки непосредственно в испытаниях, или расчетным путем, переместив это распределение по оси σ на величину монтажных напряжений $p(\delta\sigma) = p(\sigma_m - \sigma_g)$.

Подставляя формулы (6) и (4) в (5), получим

$$n_0 = (\sigma_{-1})^m \times \left[N_0 / \int_{\sigma_{пов}} (0,5\sigma_m \sigma_g - \sigma_g^2 + 0,5\sigma_g^3 / \sigma_m) p(\delta\sigma) \cdot d\sigma_g \right]. \quad (7)$$

С учетом факторов, влияющих на работу элементов стрелочных переводов и снижающих их долговечность (включая коррозию и т.д.), практически все циклы нагружения следует считать «повреждающими». Обращая внимание на то, что множитель в квадратных скобках соотношения (7) не зависит от свойств материала, из которого подкладка изготовлена, обозначив его α , выражение (7) можно записать в виде

$$n_0 = \alpha (\sigma_{-1})^m. \quad (8)$$

Из (8) видно, что в этом случае число циклов, которые подкладка выдержит до наступления излома (или образования трещины) в одинаковых условиях работы, полностью определяется пределом длительной выносливости материала σ_{-1} , из которого она изготовлена. Тогда, при известном распределении предела длительной выносливости можно найти распределение наработки подкладок до излома, пользуясь методами преобразования случайных величин [15]:

$$p(n_0) = p[\sigma_{-1}(n_0)] \cdot |J|^{-1}. \quad (9)$$

где $p(n_0)$ — искомая плотность распределения числа циклов наработки подкладок до излома; $p[\sigma_{-1}(n_0)]$ — плотность распределения предела длительной выносливости σ_{-1} материала подкладок для усталостной зависимости $\sigma_{-1}(n_0)$; $|J|$ — якобиан преобразования.

Предел длительной выносливости углеродистых сталей имеет распределение, близкое к нормальному [14]. Исходя из этого, выразив $\sigma_{-1}(n_0)$ из формулы (8) и подставив все необходимые параметры в (9), получим

$$p(n_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_{\sigma_{-1}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(n_0 / \alpha)^{1/m} - \sigma_{-1}^{cp}}{S_{\sigma_{-1}}} \right]^2 \right\} \times \frac{1}{m \alpha^{1/m} \cdot n_0^{(1-1/m)}}, \quad (10)$$

где σ_{-1}^{cp} — среднее значение предела длительной выносливости σ_{-1} , а $S_{\sigma_{-1}}$ — среднеквадратическое отклонение его распределения.

Подставляя в формулу (10) различные значения числа циклов до излома подкладок, можно получить соответствующую им плотность вероятности. Таким

образом, имея данные по пределу длительной выносливости σ_{-1}^{cp} и $S_{\sigma_{-1}}$, из формулы (10) можно получить распределение числа циклов до отказа подкладок по изломам n_0 . Интегрируя выражение (10) в диапазоне значений от 0 до n_0 и учитывая, что наработка в пути составляет

$$T = Q_{oc} n_0, \quad (11)$$

где Q_{oc} — максимальная вертикальная статическая нагрузка на ось, то получим долю подкладок, изломавшихся на момент наработки T , млн т брутто. Если не все циклы являются повреждающими, то расчет по формуле (10) дает завышенные значения. В этом случае расчет $p(n_0)$ следует проводить по формуле (9) численными методами [16].

Построенная вероятностная модель позволяет, используя зависимости формул (7) и (10), рассчитывать распределения отказов подкладок по изломам как функцию от наработки с учетом свойств материала, из которого они изготовлены, монтажных напряжений в подкладках и дополнительных напряжений в подкладках, возникающих при проходе поездов по стрелочному переводу.

По результатам изучения особенностей работы подкладок с упором был разработан вариант контрельсового башмака усиленной конструкции, показанный на рис. 2.

Подкладки изготовлены из стали 30Л методом литья с последующей термообработкой. Механические характеристики металла, полученные при лабораторных испытаниях образцов подкладок, представлены в табл. 1.

Результаты лабораторных испытаний позволяют определить необходимые для расчета ресурса подкладок характеристики материала. Согласно [11] для образцов имеет место зависимость

$$\sigma_{-1}^{cp} = (0,55 - 0,0001 \sigma_B) \sigma_B, \quad (12)$$

где σ_{-1}^{cp} — средняя величина предела длительной выносливости; σ_B — предел прочности материала.

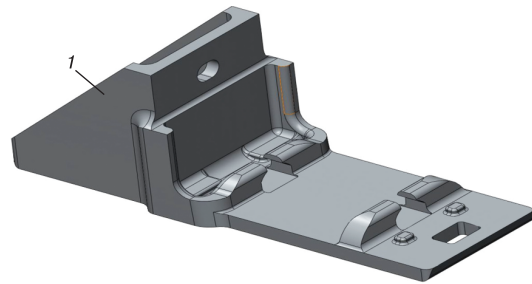


Рис. 2. Конструкция усиленной подкладки контрельсового башмака с упором*: 1 — упор
* Источник: рисунок автора

Fig. 2. Construction of the reinforced rail pad of the counter-rail drag shoe with stop block*: 1 — stop block
* Source: author's layout

Подставляя в формулу (12) результаты испытаний образцов, получим среднюю величину предела длительной выносливости материала подкладок при симметричном цикле нагружения, т.е. $\sigma_{-1}^{cp} = 290$ МПа. Для деталей машин коэффициент вариации предела длительной выносливости располагается в диапазоне (0,05–0,15) [11]. Принимая среднее значение, получим $S_{\sigma_{-1}} = 29$ МПа.

Геометрические размеры опорной части подкладок были приняты такими, чтобы напряжения в наиболее нагруженных сечениях не превышали прочностных характеристик материала, из которого подкладка изготовлена. Опытные образцы разработанного варианта подкладок с упором были изготовлены Новосибирским стрелочным заводом.

Для оценки эффективности предложенного варианта подкладок с упором были проведены сравнительные испытания типовых и разработанных вариантов подкладок непосредственно под воздействием поездной нагрузки. Испытания подкладок с упором проводились на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» под воздействием испытательного поезда, состоящего из локомотива ВЛ80 и грузовых полувагонов

Таблица 1

Механические характеристики стали, из которой изготовлены опытные подкладки*

Table 1

Mechanical characteristics of the steel of the experimental rail pads*

Параметры	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость КСУ, кДж/м ²
Разброс показателя	480–488	271–370	25–27	31–42	660–1260
Среднее значение показателя	485	307,3	26	37	970
Требование ГОСТ 977-88 для стали 30Л (нормализация или нормализация с отпуском)	Не менее 471	Не менее 255	Не менее 17	Не менее 30	Не менее 343

* Источник: разработана автором

* Source: developed by the author



Рис. 3. Стрелочный перевод типа Р65, марки 1/11, оборудованный опытными подкладками*
* Фото автора

Fig. 3. Turnout switch type P65, grade 1/11, equipped with experimental rail pads*
* Photo made by the author

с нагрузкой до 25 т/ось. Скорости движения не превышали 70 км/ч. Испытания проводились в два этапа.

На первом этапе производилась запись напряжений в типовых подкладках с упором, входящих в состав эксплуатируемого на кольцевом пути стрелочного перевода марки 1/11 на железобетонных брусках (рис. 3).

По результатам первого этапа выбиралось место, в котором подкладки с упором работали в наиболее нагруженном режиме и фиксировались напряжения в наиболее нагруженных сечениях этих подкладок. Затем на их место устанавливались опытные подкладки (рис. 4, а и 4, б) и производились измерения напряжений в этих подкладках.

Датчики напряжений (тензорезисторы) располагались по низу подошвы подкладки. Во время установки подкладок фиксировались монтажные напряжения в подошве подкладок, возникающие при затяжке болтов, а также крепления подкладки к брускам.

Образец записи напряжений в подкладке при проходе испытательного поезда показан на рис. 5.

Циклы напряжений, возникающих в подкладках от проходящего подвижного состава, двумерные, то есть определяются не только величиной наибольшего напряжения в цикле, но и коэффициентом асимметрии цикла. Кроме того, на записи (рис. 5) отчетливо видно, что под воздействием проходящего подвижного состава в подкладке возникает два вида напряжений — циклические напряжения, возникающие при проходе колес над подкладкой, вызванные прогибом рельса крестовины под нагрузкой, и дополнительные напряжения, возникающие от дополнительного бокового воздействия колес на контррельс.

Число циклов с дополнительным нагружением в эксплуатации зависит от параметров геометрии рельсовой колеи на стрелочном переводе (ширина колеи, размеры желобов, расстояние между сердечником

а)



б)



Рис. 4. Опытные контррельсовые подкладки, уложенные в путь для проведения испытаний*:
а — вид сбоку; б — вид сверху
* Фото автора

Fig. 4. Experimental counterail rail pads laid for testing*:
а — side view; б — top view
* Photo made by the author

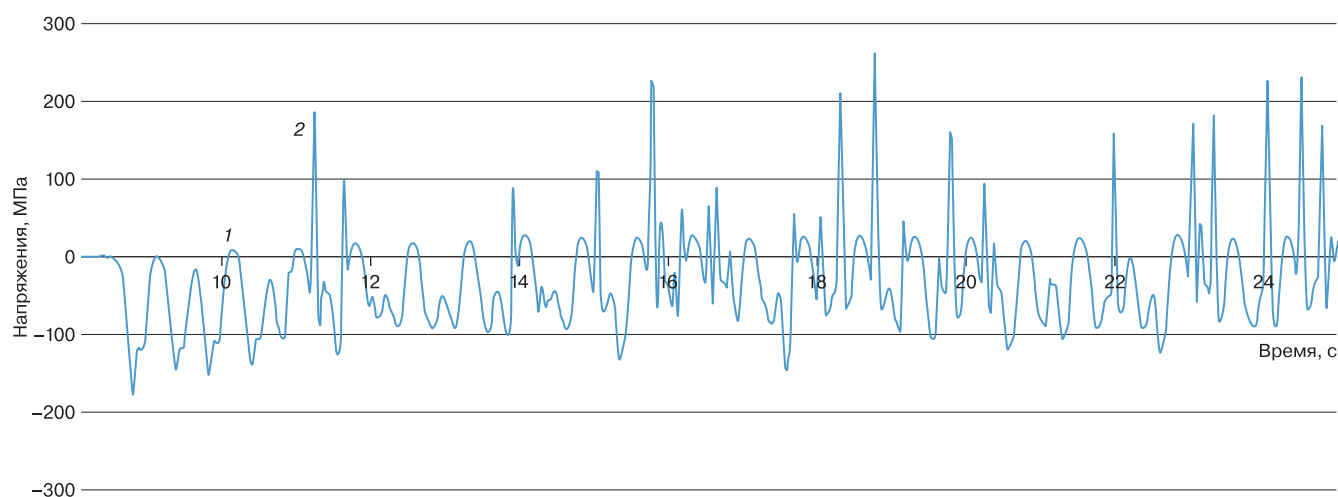


Рис. 5. Напряжения в подошве подкладки при проходе испытательного поезда*:
1 — циклические; 2 — дополнительные (динамические добавки)

* Источник: данные автора

Fig. 5. Stresses in the sole of the rail pad during the passage of the test train*:

1 — cyclical; 2 — additional (dynamic additives)

* Source: author's data

крестовины и контррельсом), а также параметров колеи проходящего подвижного состава (толщина гребней и насадка колесных пар). Для среднесетевых условий эта доля составляет 30–40% от общего количества циклов. В условиях проведенных испытаний использовался один и тот же подвижной состав, а параметры рельсовой колеи были одинаковы, поэтому доля колес, дополнительно воздействующих на контррельс, также оказалась одинаковой, в среднем около 32,5–33%.

Анализ данных, полученных от воздействия испытательного поезда, показал (табл. 2.), что параметры распределений наибольших напряжений первого вида в цикле для типовых и опытных подкладок соответственно составляют: средние величины —

78 и 57 МПа, максимальные вероятные значения наибольших напряжений — 128 и 102 МПа, т.е. преимущество опытных — 25,5%. Коэффициенты асимметрии циклов нагружения первого вида с учетом монтажных напряжений от затяжки болтов колеблются в пределах $(-0,15) - (-0,25)$.

Параметры распределений циклов с дополнительным нагружением следующие: средние величины наибольших напряжений для типовых и опытных подкладок соответственно равны 215 и 172 МПа. Максимальные вероятные значения наибольших напряжений — 348 и 277 МПа, т.е. преимущество опытных — 25,6%. Коэффициенты асимметрии циклов нагружения от $(-0,68)$ до $(+0,10)$.

Таблица 2

Параметры циклов нагружения подкладок с упором от воздействия испытательного поезда, МПа*

Table 2

Parameters of rail pad with stop block stress cycles from the exposure of the test train, МПа*

Вид цикла нагружения	Типовая подкладка		Опытный образец	
	изгибные	дополнительные	изгибные	дополнительные
Математическое ожидание наибольшего напряжения в цикле	78	215	57	172
Среднеквадратическое отклонение	20	53	18	42
Максимальные вероятные значения наибольших напряжений	128	348	102	277
Коэффициент асимметрии цикла нагружения	$(-0,15) - (+0,25)$	$(-0,68) - (+0,05)$	$(-0,15) - (+0,22)$	$(-0,60) - (+0,10)$
Доля циклов нагружения	67%	33%	67,5%	32,5%

* Источник: данные автора

* Source: author's data

Полученные данные по прочностным показателям материала подкладок и напряженному состоянию их в пути под воздействием поездной нагрузки позволяют произвести с помощью предложенной выше модели сравнительные расчеты распределения ресурса подкладок в вероятностном аспекте.

Сравнительные ресурсные показатели типовых и опытных подкладок с упором были рассчитаны для условий испытаний, реализуемых на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ».

При проведении расчетов данные табл. 2 были возвращены в двумерные распределения:

$$\sigma_g = k\sigma_g(\sigma_n, r), \quad (13)$$

где k — доля циклов нагружения, т.е. $k=0,67$ для циклов изгибных напряжений, а $k=0,33$ для циклов «дополнительных» напряжений; σ_n — наибольшие напряжения цикла нагружения; r — коэффициент асимметрии цикла нагружения.

Показатель угла наклона усталостной кривой для углеродистых сталей m составляет 5–6 [11]. При выполнении настоящих расчетов принята величина $m=6$. Результаты расчетов показаны на рис. 6.

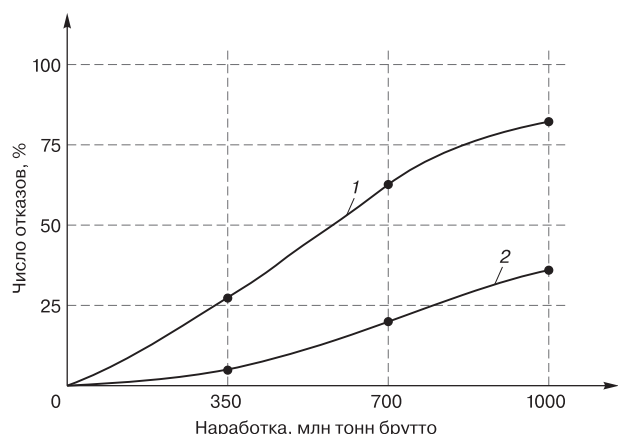


Рис. 6. Расчетные ресурсные показатели подкладок с упором*:
1 — типовые подкладки; 2 — опытные
* Источник: разработан автором

Fig. 6. Estimated resource indicators of rail pads with stop blocks*:
1 — standard rail pads; 2 — prototypes
* Source: developed by the author

Из графиков прогнозируемых отказов подкладок с упором видно, что предлагаемый вариант подкладок с упором позволяет значительно снизить число их отказов в эксплуатационной работе. Так, для условий Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» к моменту наработки стрелочного перевода, близкой к среднесетевой нормативной (350 млн т brutto), число отказавших типовых подкладок с упором составляет более 25,5%, а число таких же отказов подкладок предлагаемой конструкции — всего 5,3%. При вдвое

большей наработке отказы получают до 65% типовых подкладок и около 20% предлагаемых.

Результаты. Построенная модель распределения вероятности отказов контрольных подкладок с упором позволяет определять показатели ресурса подкладок в зависимости от прочностных параметров материала, напряженного состояния подкладок под воздействием поездной нагрузки и монтажных напряжений, возникающих при установке подкладки в узел.

Динамико-прочностные испытания, проведенные на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», показали, что под воздействием проходящего железнодорожного подвижного состава в подкладке возникает два вида напряжений — циклические напряжения, возникающие при проходе колес над подкладкой, вызванные прогибом рельса крестовины под нагрузкой, и дополнительные напряжения, возникающие от дополнительного бокового воздействия колес на контррельс.

Результаты испытаний типовых и опытных подкладок с упором в условиях Экспериментального кольца выявили, что преимущество опытных подкладок по уровню напряжений в наиболее нагруженных сечениях составляет около 25%. Прогнозируемый ресурс предлагаемых подкладок с упором на 20% превышает ресурс типовых подкладок, используемых в настоящее время.

Обсуждение и заключение. Вероятность безотказной работы контрольных подкладок с упором ниже, чем у контрольных на протяжении всего периода работы в пути, то есть отказы подкладок с упором ограничивают работоспособность контрольного узла в целом. Для решения задачи повышения ресурса всего контрольного узла предлагается при проектировании использовать метод суммирования повреждений, предложенный в данной работе.

Разработанную и испытанную в рамках выполнения данной работы конструкцию подкладки с упором целесообразно использовать как при разработке новых образцов стрелочной продукции, так и при модернизации уже эксплуатируемой, так как она была разработана с учетом принципа взаимозаменяемости.

Благодарности: автор выражает благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the author expresses his gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Глюзберг Б.Э. Система критериев и требований, определяющих скорости движения подвижного состава по стрелочным переводам // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 3. С. 198–211. EDN: <https://elibrary.ru/fvoefa>.
2. Глюзберг Б.Э., Титаренко М.И., Трегубчик П.В. Обеспечение перевозочного процесса при нагрузках на стрелочные переводы, превышающих проектные и нормативные критерии // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 3. С. 205–214. EDN: <https://elibrary.ru/pvmugq>.
3. Глюзберг Б.Э. System of criteria and requirements that determine rolling stock velocities along railroad switches. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(3):198–211. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/fvoefa>.
4. Титаренко М.И. Совершенствование конструкции стрелочных переводов // Путь и путевое хозяйство. 2002. № 9. С. 29–30.
5. Титаренко М.И. Improving the design of turnout switches. *Railway Track and Facilities*. 2002;(9):29–30. (In Russ.).
6. Глюзберг Б.Э., Королев В.В., Шишкина И.В. Новые конструкции контррельса для увеличения безопасности движения по стрелочным переводам // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2021. № 1. С. 38–41. EDN: <https://elibrary.ru/dcetrk>.
7. Глюзберг Б.Э., Королев В.В., Шишкина И.В. New counter-rail designs to increase traffic safety on turnouts. *History and prospects of transport development in the North of Russia: Materials of the proceedings of All-Russian scientific and practical conference*. 2021;(1):38–41. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/dcetrk>.
8. Королев В.В. Возможность изменения профиля контррельсового уголка СП-850 // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 9. С. 29–31. EDN: <https://elibrary.ru/hwgdov>.
9. Королев В.В. Possibility to change the angle profile of the counter-rail SP-850. *Railway Track and Facilities*. 2021;(9):29–31. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/hwgdov>.
10. Королев В.В. Варианты изменения контррельсового профиля // Транспортное строительство. 2022. С. 69–80. EDN: <https://elibrary.ru/ytjdvq>.
11. Королев В.В. Options for changing the counter-rail profile. In: *Transport construction: Proceedings of the third All-Russian scientific and technical conference, Moscow*. Moscow: Pero; 2022. P. 69–80. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ytjdvq>.
12. Рихтер Е.Е. К вопросу увеличения ресурса контррельсовых подкладок // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 6. С. 21–22. EDN: <https://www.elibrary.ru/yzziib>.
13. Richter E.E. On the issue of increasing the resource of counter-rail linings. *Railway Track and Facilities*. 2024;(6):21–22. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/yzziib>.
14. Рихтер Е.Е. Совершенствование конструкции подкладки контррельса стрелочного перевода // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (50). С. 14–20. EDN: <https://elibrary.ru/vfefoo>.

15. Richter E.E. Improvement of the switch counter-rail lining design. *Vestnik UrGUPS*. 2021;2(50):14–20. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vfefoo>.
16. Подойников В.Г., Рихтер Е.Е., Проценко Г.Г. Разработка дискретной модели и расчетные исследования прочности конструкции подкладок контррельса // РСР-Эксперт. 2013. № 12. С. 20–22.
17. Podoynikov V.G. Development of a discrete model and computational studies of the structural strength of counter-rail lining. *RSP-Expert*. 2013;(12):20–23. (In Russ.).
18. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 363 с.
19. Kogaev V.P. *Calculations for strength under time-varying stresses*. 2nd ed., revision and additions. Moscow: Mashinostroyeniye; 1993. 363 p. (In Russ.).
20. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.
21. Капур К., Lamberson L. *Reliability and system design*. Moscow: Mir, 1980. 604 p. (In Russ.).
22. Гохфельд Д.А., Чернявский О.Ф. Несущая способность конструкций при повторных нагружениях. М.: Машиностроение, 1979. 263 с.
23. Gohfeld D.A., Chernyavskiy O. F. *Bearing capacity of structures under repeated loads*. Moscow: Mashinostroyeniye; 1979. 263 p. (In Russ.).
24. Коллинз Д. Повреждение материалов в конструкциях: анализ, предсказание, предотвращение. М.: Мир, 1984. 624 с.
25. Collins D.A. *Damage to materials in structures: analysis, prediction, prevention*. Moscow: Mir; 1984. 624 p. (In Russ.).
26. Розанов Ю.А. Случайные процессы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1979. 183 с.
27. Rozanov Yu.A. *Random processes*. 2nd ed., revision and additions. Moscow: Mir; 1979. 183 p. (In Russ.).
28. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1971. 576 с.
29. Mitropolskiy A.K. *Statistical computing techniques*. 2nd ed., revision and additions. Moscow: Nauka; 1971. 576 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Михаил Евгеньевич БЕРЕЗОВСКИЙ,
заместитель генерального директора, Акционерное общество «Новосибирский стрелочный завод» (АО «НСЗ») (630025, г. Новосибирск, ул. Аксенова, 7), AuthorID: 1277422, ORCID 0009-0009-1414-8376

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail E. BEREZOVSKI,
Deputy General Director, Novosibirsk Switch Plant (Novosibirsk, 7, Aksenova st.), AuthorID: 1277422, ORCID 0009-0009-1414-8376

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 04.12.2024, рецензия от первого рецензента получена 10.12.2024, рецензия от второго рецензента получена 11.12.2024, принята к публикации 09.01.2025.

The article was submitted 04.12.2024, first review received 10.12.2024, second review received 11.12.2024, accepted for publication 09.01.2025.