

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ЖД ПРЕДПРИЯТИЯ ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

ENTERPRISE RESOURCE PLANNING FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING USING STOCHASTIC PROGRAMMING METHODS

I. Zvonkov

Summary. The main way to ensure the safety of rail transport is to check the railway track using the non-destructive testing method. The frequency of inspections depends on the state of the path in the previous period. The article proposes a method for processing empirical data, which makes it possible to use reliable forecasts when drawing up a schedule for the enterprise's flaw detection operations.

Keywords: defectoscopy, planning control, linear programming problem.

Звонков Игорь Валерьевич

Аспирант, Иркутский государственный университет
путей сообщения
i.v.zvonkov@gmail.com

Аннотация. Основным способом обеспечения безопасности железнодорожных перевозок является проверка железнодорожного пути методом неразрушающего контроля. Периодичность проверок зависит от состояния пути в предыдущий период. В статье предлагается метод обработки эмпирических данных, который позволяет использовать достоверные прогнозы при составлении плана-графика работ предприятия по дефектоскопии.

Ключевые слова: дефектоскопия, планирование контроля, задача линейного программирования.

Основным показателем планирования работы предприятий ж.д. по дефектоскопии является периодичность проверки, определяемая [1] на основе статистических данных выхода дефектных рельсов за прошедший период. При этом предлагается оперировать эмпирическими данными, а не теоретическими законами распределения статистических данных, что не позволяет с достаточной точностью обосновывать результаты расчета. Рассмотрим алгоритмическую схему, позволяющую устранить данную проблему.

Устанавливать наличие отклонений в ходе реализации уже принятых управленческих решений и осуществлять их корректировку можно при помощи эффективного инструментария. В таких случаях проводят эксперимент, при котором вместо проведения испытаний с реальными объектами выступает не сама система, а ее модель. В случаях, когда система функционирует в условиях неопределенности и риска, в качестве инструментария для проведения математического моделирования целесообразно применение методов имитационного моделирования. Результатом имитационного моделирования будет информация, по которой могут быть построены достоверные прогнозы, стратегические и оперативные планы, будет снижен риск непредвиденных ситуаций в управлении. При реализации имитационного моделирования можно выделить две основных стадии [2]:

- ♦ разработка модели необходимого процесса или процессов;

- ♦ постановка экспериментов на этой модели с целью определения функционирования рассматриваемой системы в будущем.

Постановка эксперимента осуществляется при помощи метода Монте-Карло, который лежит в основе имитационного моделирования стохастических факторов.

Как указывалось выше основным показателем, определяющим количество проверок и продолжительность между проверками ж.д. пути являются статистические данные по дефектам рельсов, произошедших за предыдущий месяц по участкам дистанции пути. При этом предлагается использование статистических данных без предварительной обработки. Но, как показывает практика, использование статистики за прошедший период без применения соответствующих математических методов их обработки может привести к необоснованным выводам, и, как следствие — неверному выбору принимаемых решений.

Рассмотрим результаты функционирования подразделений службы пути Забайкальской ж.д.[3]. Результаты статистического исследования представлены на рисунках 1–3.

На основе анализа эмпирических данных выхода дефектных рельсов можно выдвинуть гипотезу, что их распределение адекватно экспоненциальному закону. Тогда имитационное моделирование будет осуществляться



Рис. 1. Эмпирическое распределение ОДР

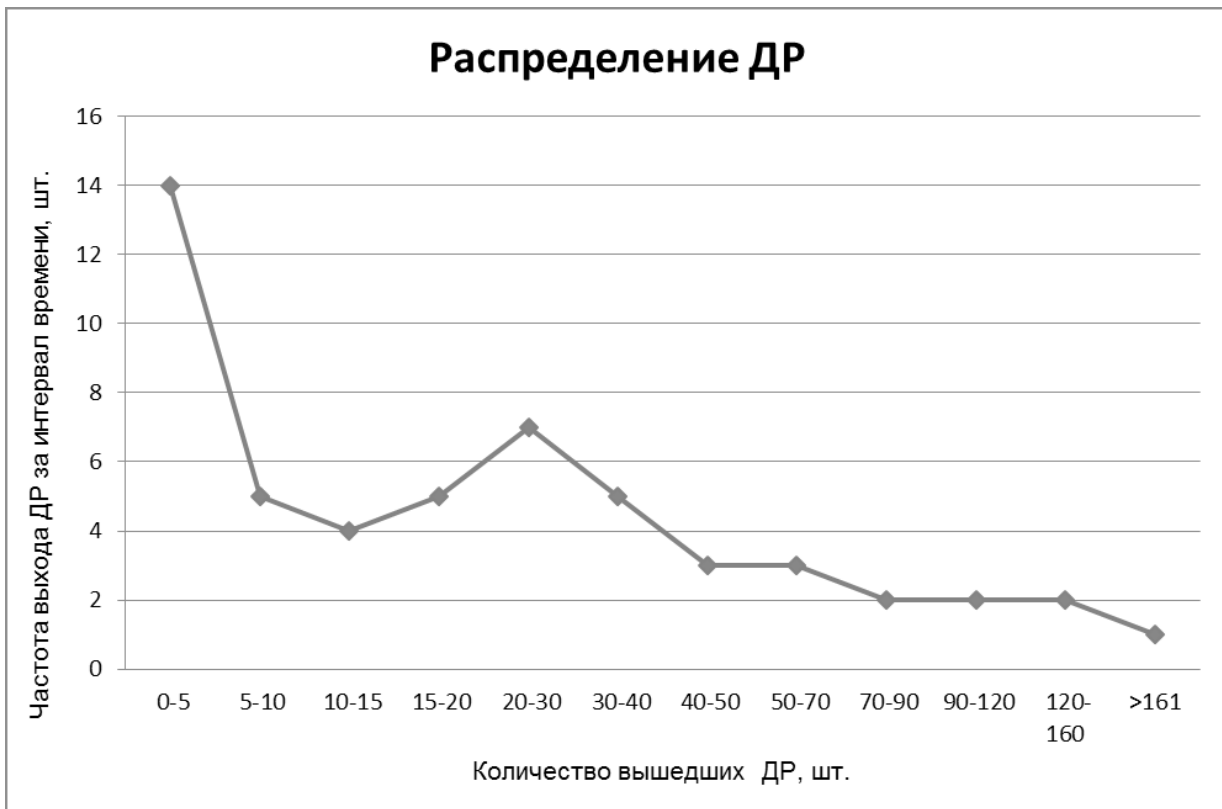


Рис. 2. Эмпирическое распределение ДР



Рис. 3. Эмпирическое распределение изломов рельсов



Рис. 4. Эмпирическое и теоретическое распределение ОДР

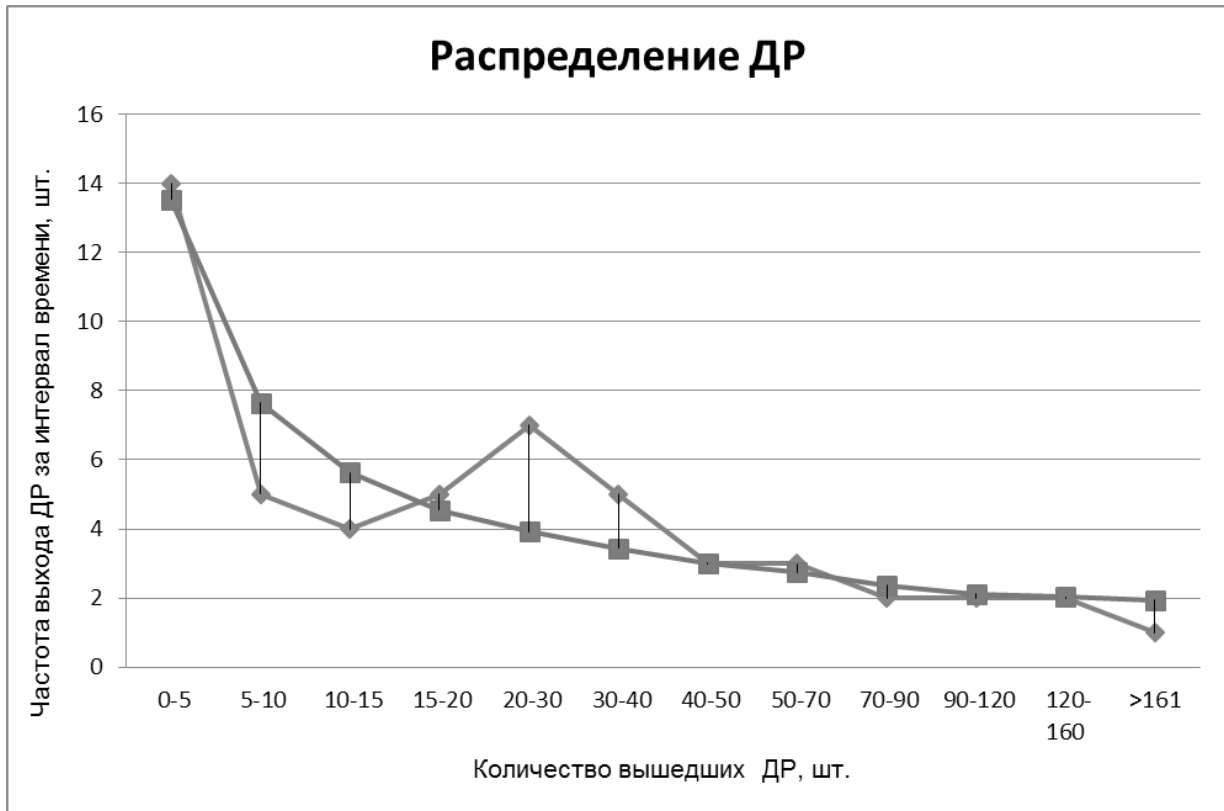


Рис. 5. Эмпирическое и теоретическое распределение ДР

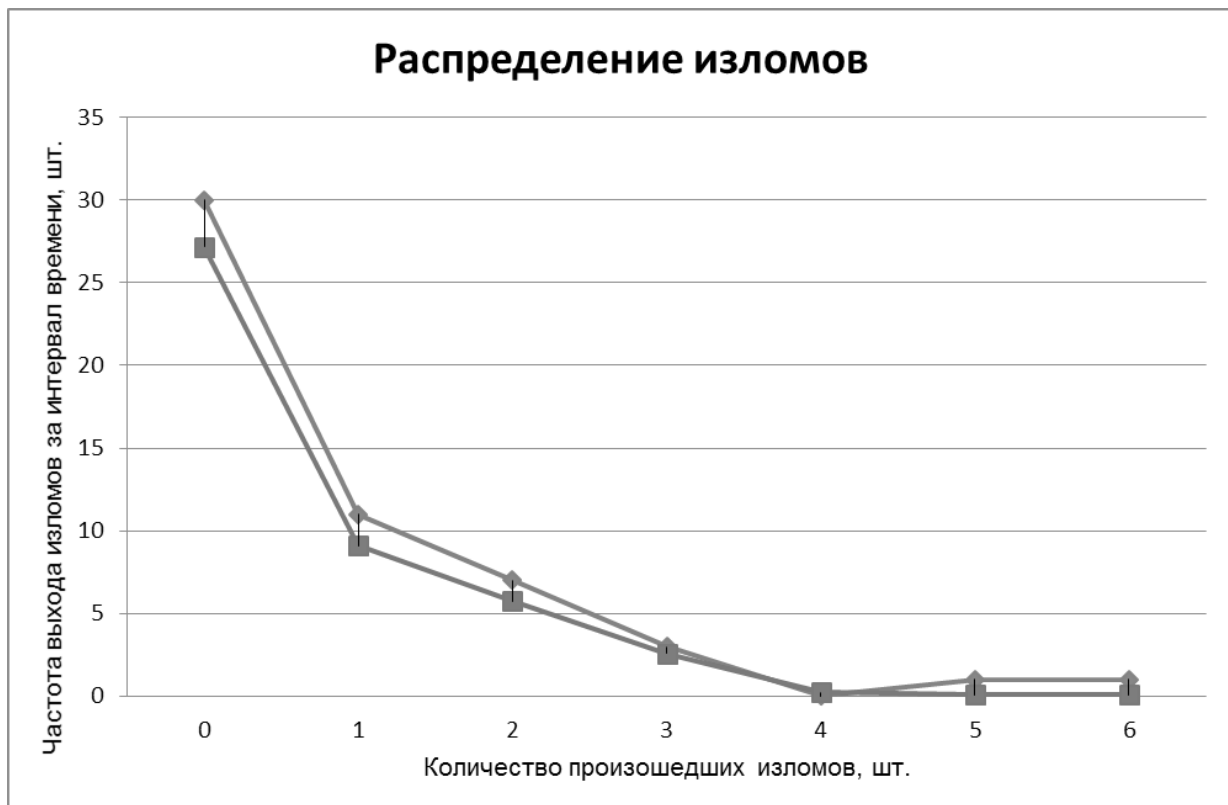


Рис. 6. Эмпирическое и теоретическое распределение изломов рельсов

Таблица 1 Проверка гипотезы выбора теоретического закона распределения

Вид дефекта	Критерий Пирсона, χ^2	Критерий Романовского, c
ОДР	39,39127	1,857036
ДР	5,127001	1,252128
Изломы	22,829768	4,858335

в соответствии с теоретическим законом распределения функции СВ от x :

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & \text{при } x \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Под выходом дефектных рельсов будем понимать прекращение эксплуатации соответствующих рельсов, имеющих один из рассматриваемых далее дефектов: дефектный рельс (ДР), острodefектный рельс (ОДР), излом рельса.

Проведем статистическое исследование с целью обоснования выдвинутой гипотезы и определения теоретического распределения дефектных рельсов по видам дефектов. Результаты исследований представлены на рисунках 4–6.

На основе характера распределения выхода дефектных рельсов по всем видам дефектов, можно сделать заключение о подтверждении гипотезы об адекватности эмпирического закона распределения СВ. Обоснование правильности выдвинутой гипотезы подтверждается статистической проверкой с помощью критериев согласия Романовского, результаты расчета которого приведены в таблице 1.

Анализ значений критерия согласия Романовского показывает, что расхождения между теоретическим и эмпирическим распределениями следует признать несущественным для дефектов «ОДР» и «ДР», $c \leq 3$. Для дефекта «Излом рельса», для которого $c > 3$ следует сделать уточнение. Так данный вид дефекта является наихудшим с точки зрения эксплуатации ж.д. пути и его проявление происходит намного реже, чем других видов дефектов рельса, что подтверждается статистическими данными для рассматриваемых объектов исследования, то по характеру эмпирического распределения и с учетом увеличения длины выборки можно получить соответствие эмпирического распределения экспоненциальному закону. Данные колонки 4 таблицы 3 также подтверждают, что наибольший вклад в значение критерия Пирсона привнесли данные по излому 5 и 6 рельсов, которые произошли по одному разу за рассматриваемый интервал времени.

Тогда порядок определения значения выхода числа дефектных рельсов, по соответствующему виду дефекта, в результате имитационного моделирования будет осуществляться на основе следующей процедуры.

1. Вначале проводится имитационное моделирование выхода числа дефектных рельсов по соответствующему виду дефекта, на основе анализа распределения числа дефектов по участкам пути для всех подразделений дефектоскопии, с учетом ранее проведенных статистических исследований.
2. Строится полигон распределения моделируемого показателя.
3. Определяется функциональная зависимость на основе метода наименьших квадратов.
4. По результатам моделирования определяется значение числа вышедших дефектных рельсов по соответствующему виду дефекта.
5. Этапы 1 и 4 последовательно повторяются для определения значений числа вышедших дефектных рельсов по другим видам дефектов.

Введем параметр g'_j — показатель, используемый в методике [1], являющийся СВ. В указанной методике g'_j является функцией трех показателей $g'_j = f(a_1, a_2, a_3)$, где: a_1 — объем пропущенного тоннажа по участку ж.д. пути; a_2 — скорость движения по участку ж.д. пути; a_3 — выход дефектных рельсов.

При этом показатели a_1, a_2 можно считать константами, так как теоретическое и эмпирическое распределение указанных показателей находятся в сильной статистической зависимости $r > 0.95$. Таким образом, статистическому исследованию подлежит показатель, характеризующий выход дефектных рельсов.

Тогда задача целочисленного программирования [4] в указанной постановке преобразуется в задачу стохастического программирования, в которой ограничение (2.18) будет записано следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N y_{ij} = [P(g'_j)], \quad j = \overline{1, e} \quad (2)$$

Здесь: P — вероятность рассматриваемой СВ, определяемая на основе имитационного моделирования, распределенная по экспоненциальному закону в интервалах по результатам статистического исследования.

Так как в работе исследуются три вида дефектов рельса, а в методике [1] используется обобщенный показатель выхода дефектных рельсов, то для его определения введем комплексный показатель:

$$K_j = \sum_{c=1}^b \tilde{\alpha}_c [P^c(Z_{расч.}^c) \leq a_{3c}], \quad j = \overline{1, e}, \quad (3)$$

где $\tilde{\alpha}_c$ — нормирующие коэффициенты, которые могут определяться как в результате экспертизы, так и посредством прямого вычисления, при этом должно выполняться условие нормировки

$$\sum_{A=1}^b \tilde{\alpha}_A = 1;$$

$Z_{расч.}^c$ — величина, определяемая в соответствии с алгоритмом; P^c — вероятность выхода соответствующего

вида дефекта, определяемая на основе имитационного моделирования; c — вид дефекта рельса, $c = \overline{1, b}$.

На основе известных значений a_1, a_2 и вычисленного значения комплексного показателя, характеризующего выход дефектных рельсов K_j и подстановкой последних в таблицу [Ж.3, 1], определяется новое значение числа проверок задачи стохастического программирования. Если обозначить новое значение числа проверок как g_j'' , то ограничение (2) можно представить в детерминированном виде:

$$\sum_{i=1}^N y_{ij} = g_j'', \quad j = \overline{1, e}, \quad (4)$$

что позволит решать данную задачу ЛП традиционными методами, в частности, симплекс-методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 09.09.2011 N2036p (<http://www.tdesant.ru/info/item/62>)
2. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория вычисления и приложения. — М., 1992.
3. <http://zab75.ru/zrw/dco/onk/index.html>
4. Бутырин О. В., Звонков И. В. Технология рационального планирования ресурсов предприятия железной дороги по дефектоскопии // Современный технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017, № 1(53) с. 128–132

© Звонков Игорь Валерьевич (i.v.zvonkov@gmail.com). Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Иркутский государственный университет путей сообщения