



# Происшествия на железной дороге: оценка ликвидации последствий



Николай КОВАЛЕНКО  
Nikolay I. KOVALENKO

Александр КОВАЛЕНКО  
Alexander N. KOVALENKO



*Коваленко Николай Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Коваленко Александр Николаевич – аспирант кафедры «Экономика» Российской академии путей сообщения МИИТ, Москва, Россия.*

## Incidents on the Railway: Assessment of Consequences Elimination

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 207)

**Разработана методика определения расчётного времени открытия движения и минимизации затрат по времени, которая базируется на определении продолжительности «окон» для выполнения ремонтов железнодорожного пути (восстановления инфраструктуры после происшествия) по условиям обеспечения минимальных затрат на производство путевых работ с учётом непроизводительных потерь и расходов от задержек и простоя поездов.**

*Ключевые слова:* железная дорога, транспортное происшествие, ликвидация последствий, аварийно-восстановительные работы, методика оценки, приведённые затраты, «окно» в графике движения, безопасность, уровень риска.

**В** качестве происшествия на железнодорожном транспорте рассматриваются случаи крушений, аварии, сход подвижного состава, отказы технических средств [1].

Разработка эффективных вариантов ремонта пути (восстановления после происшествия) с обеспечением заданного уровня надёжности и безопасности должны базироваться на обосновании экономических показателей, влияющих на продолжительность «окон» [2].

Методика оценки ликвидации последствий при происшествии предназначена для определения расчётного времени открытия движения и минимизации приведенных затрат времени на производство ремонта пути и инфраструктуры.

В соответствии с имеющимися рекомендациями под приведенными затратами времени при выборе продолжительности «окна» рассматривается сумма единовременных затрат времени на ремонт пути и инфраструктуры железнодорожного транспорта и потерь времени в перевозочном процессе [3].

Приведенные затраты времени ( $P_{\text{зат}}$ , час) выражаются зависимостью:

$$P_{\text{зат}} = T_{\text{тр}} + Z_{\text{пх}} + \alpha_{\text{пот}} \cdot P_{\text{д}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{тр}}$  – затраты времени на транспортировку колонн восстановительных поездов от базы дислокации к месту происшествия и их возвращения на станцию призывания, часы;

$Z_{\text{пх}}$  – единовременные затраты времени в «окно» на производство ремонтных работ в пути и инфраструктуре при ликвидации последствий при происшествии, часы;

$P_{\text{д}}$  – потери времени от задержек поездов (дополнительных остановок и стоянок), изменения графика их движения и маршрутов следования в период выделения «окна» и после его окончания, часы;

$\alpha_{\text{пот}}$  – эмпирический параметр, получаемый в результате аппроксимации результатов обобщения потерь времени от задержек, простоя, изменения маршрутов движения поездов во время «окна» и после его окончания, отображающий их изменение с увеличением продолжительности «окна».

Затраты времени, связанные с доставкой машин и рабочих поездов к месту работ и обратно ( $T_{\text{тр}}$ ), подсчитываются по формуле:

$$T_{\text{тр}} = \sum_{n=1}^N n_{\text{лок}} \cdot t_{\text{лок}}, \quad (2)$$

где  $n_{\text{лок}}$  – число локомотивов, занятых на обслуживании рабочих поездов согласно проекту организации работ, штук;

$n \dots N$  – число рабочих поездов, занятых в технологии ликвидации последствий происшествия;

$t_{\text{лок}}$  – время использования локомотива, часы:

$$t_{\text{лок}} = 2 \left( \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} + t_{\text{баз}} + t_{\text{см}} \right), \quad (3)$$

где  $l_1$  – средняя дальность пробега от базы до места происшествия и обратно, км;

$l_2$  – то же туда и обратно от базы до депо приписки локомотива, км;

$v_1$  – средняя скорость продвижения рабочих поездов на участке (ориентировочно  $v_1 = 30-40$ ), км/ч;

$v_2$  – то же одиночно следующего локомотива ( $v_2 = 40-50$ ), км/ч;

$t_{\text{баз}}$  – длительность маневровой работы на базе и ожидание маршрута (около 0,5), часы;

$t_{\text{ст}}$  – время маневров и ожидания «окна» на станции, прилегающей к участку работ, часы.

Инструкция ОАО «РЖД» [4, 6] о порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ рекомендует: «Необходимый период времени для выполнения планируемого объема работ с закрытием перегона ( $t_{\text{ок}}$ ) следует определять по лимитирующей машине»:

$$t_{\text{окна}} = L_{\text{ф}} / V_{\text{вед}}, \quad (4)$$

где  $L_{\text{ф}}$  – фронт работ в «окно», км;  $V_{\text{вед}}$  – темп выполнения ведущей операции при ремонте пути или технологическая производительность ведущей машины, км/ч.

Под технологической производительностью подразумевается выработка в единицу времени с учетом технологических прогнозируемых потерь времени (на пропуск поездов по соседнему пути, на укладку пенополистирольных плит, замену рулонов геотекстиля, перегрузку засорителей, перетяжку пакетов звеньев и так далее), которая не зависит от продолжительности «окна».

Выработка в «окно» составит:

$$L_{\text{ф}} = t_{\text{ок}} \cdot V_{\text{вед}}, \text{ км}. \quad (5)$$

Анализ практики организации «окон» показывает, что ремонтно-строительные работы осуществляются в соответствии с технологическими процессами, требующими фиксированной продолжительности «окон», (погонных м/ч, км/сутки).

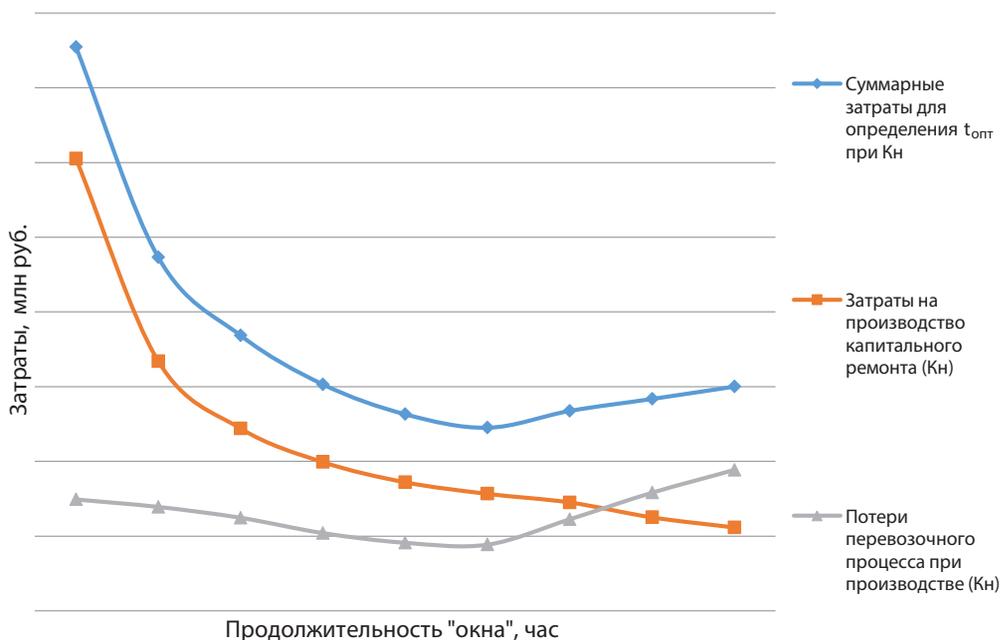
Затраты времени для путевых работ и восстановления инфраструктуры ( $Z_{\text{вос.инфр}}$ ) после происшествия определяются либо с помощью оценки фактических потерь для события, или на основании затрат по технологии производства, соответствующего типового технологического процесса, приходящихся на единицу длины, например, 1 км:

$$Z_{\text{вос.инфр}} = Z_{\text{пх}} + Z_{\text{инфр}}, \quad (6)$$

где  $Z_{\text{инфр}}$  – затраты на восстановление инфраструктуры, поврежденной при происшествии.

Затраты времени для производства путевых работ выполняются на основании затрат по технологии производства, соответствующего типового технологического





**Рис. 1. Определение оптимальной продолжительности «окна» при выполнении капитального ремонта пути на новых материалах (восстановления пути после происшествия) с учётом затрат смежных хозяйств инфраструктуры.**

процесса на единицу длины ( $Z_{пх}$ ) и определяются зависимостью:

$$Z_{пх} = \frac{(T_{пх} + \Delta T_{нас} + \Delta T_{выем} + \Delta T_{платф} + \Delta T_{переезд} + \Delta T_{стр.перевод} + \Delta T_{изост} + \Delta T_{блок-пост}) \cdot K_{рс} + \rho_{отк} \cdot C_{отк}}{L_{р.пр}} \quad (7)$$

где  $T_{пх}$  — средние затраты времени на выполнение путевых ремонтных работ по ликвидации последствий происшествия, аналогичных соответствующему набору технологических операций типового технологического процесса (или по фактическим данным трудозатрат), часы;

$L_{р.пр}$  — приведенная длина расчетного участка, км;

$K_{рс}$  — коэффициент корректировки затрат времени (коэффициент корректировки затрат времени на условия эксплуатации определяется по зависимости:

$$K_{рс} = K_{пл} \times K_{ст} \times K_{\%о} \times K_{Гi}, \quad (8)$$

где  $K_{пл}$  — коэффициент корректировки увеличения времени (или трудозатрат) при выполнении ремонтных работ в кривых участках пути;

$K_{ст}$  — коэффициент корректировки затрат времени (или трудозатрат) в зависимости от дальности расположения базы стоянки восстановительных поездов;

$K_{\%о}$  — коэффициент корректировки затрат времени (или трудозатрат) в зависимости от уклона продольного профиля железнодорожной линии);

$\rho_{отк}$  — среднестатистическая вероятность отказа технических средств путевого хозяйства (среднестатистическая вероятность риска) для рассматриваемого участка пути;

$C_{отк}$  — среднестатистическое время отказа технических средств путевого хозяйства для рассматриваемого участка пути, часы;

$K_{Гi}$  — коэффициент корректировки затрат времени (или трудозатрат) в зависимости от грузонапряженности рассматриваемого участка;

$\Delta T_{нас}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) в пределах высокой насыпи;

$\Delta T_{выем}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) в пределах глубокой выемки;

$\Delta T_{платф}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) в пределах высокой или низкой платформы;

$\Delta T_{переезд}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) в пределах переезда;

$\Delta T_{стр.перевод}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) по демонтажу и укладке стрелочных переводов;

$\Delta C_{\text{изостык}}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) по демонтажу существующего и устройству нового изолирующего стыка;

$\Delta T_{\text{блок-пост}}$  — дополнительное время работ (или трудозатрат) при устройстве нового и демонтаже существующего блок-поста на перегоне в пределах участка ремонта.

Затраты на восстановление инфраструктуры ( $Z_{\text{инфр}}$ ), повреждённой происшествием при проведении дополнительных работ, например, переустройство контактной сети ( $Z_{\text{конт.сети}}$ ), средств сигнализации и связи ( $Z_{\text{СЦБ.связь}}$ ) и другие сопутствующие работы, предусматриваются отдельными технологическими процессами на производство ремонтных и строительных работ.

$$Z_{\text{инфр}} = Z_{\text{конт.сети}} + Z_{\text{СЦБ.связь}} \quad (9)$$

По отдельным финансовым документам планируются затраты на восстановление повреждённых вагонов и локомотивов, страховые выплаты в результате порчи или потери перевозимых грузов, полученных травм или летального исхода перевозимых пассажиров.

При расчете оптимальной продолжительности «окон» учитываются максимальные задержки поездов за весь период ремонта при ликвидации последствий происшествия и максимальная выработка в «окно» с учетом гарантированного выполнения объема работ [5].

Эксплуатационные расходы времени хозяйства перевозок ( $T_{\text{пр}}$ ), связанные с организацией пропуска поездопотока во время «окна» ( $t_{\text{окна}}$ ), определяются из выражения:

$$T_{\text{пр}} = (1 + \xi) \cdot \left( \sum_{m=1}^m N_{\text{сп}} \cdot t_{\text{сп}} + \sum_{p=1}^p N_{\text{нас}} \cdot t_{\text{нас}} + n_{\text{ост}}^{\text{гр}} \cdot t_{\text{ост}}^{\text{сп}} + n_{\text{ост}}^{\text{пас}} \cdot t_{\text{ост}}^{\text{нас}} + n_{\text{ост}}^{\text{приг}} \cdot t_{\text{ост}}^{\text{приг}} \right), \quad (10)$$

где  $\sum_{m=1}^m N_{\text{гр}} \cdot t_{\text{гр}}$ ;  $\sum_{p=1}^p N_{\text{нас}} \cdot t_{\text{нас}}$  — общее время задержек поездов в пути, соответственно грузовых и пассажирских, включая пригородные, поездо-часы;

$n_{\text{ост}}^{\text{гр}}, n_{\text{ост}}^{\text{пас}}, n_{\text{ост}}^{\text{приг}}$  — общее число дополнительных остановок грузовых, пассажирских и пригородных поездов, штук;

$t_{\text{ост}}^{\text{сп}}, t_{\text{ост}}^{\text{нас}}, t_{\text{ост}}^{\text{приг}}$  — время (продолжительность) одной дополнительной остановки грузового, пассажирского и пригородного поездов, часы;

$\xi$  — вероятность учёта наступления нежелательного события или возникновения нежелательной ситуации, вызванной, например, передержкой «окна» или другими факторами, которые классифицируются как риск возникновения дополнительных затрат времени и снижения доходов [7, 8].

Дополнительные затраты поездочасов определяются суммой произведений числа задержанных поездов на время «окна». Данные о числе поездов и времени их задержки в продвижении каждого из них принимаются в соответствии с вариантным графиком движения.

Увеличение оборота грузового вагона ( $\Delta \mathcal{G}_{\text{ок}}$ ) из-за проведения «окон» определяется по следующей зависимости:

$$\Delta \mathcal{G}_{\text{ок}} = \frac{\Delta \sum_{n=1}^n N_{\text{сп}} \cdot t_{\text{сп}} \cdot m_{\text{ваг}}}{24 \cdot U_{\text{ваг}}}, \quad (11)$$

часы (сутки), где  $m_{\text{ваг}}$  — число вагонов в грузовом поезде;

$U_{\text{ваг}}$  — работа парка грузовых вагонов, (погрузка, выгрузка, плюс приём гружённых вагонов).

В связи с ростом оборота грузового вагона из-за проведения «окна» возрастает потребность в дополнительных ресурсах для обеспечения заданного объёма перевозок:

$$\Delta n_{\text{ваг}} = \Delta \mathcal{G}_{\text{ок}} \cdot U_{\text{ваг}} = \frac{\Delta \sum_{n=1}^n N_{\text{сп}} \cdot t_{\text{сп}} \cdot m_{\text{ваг}}}{24}, \quad (12)$$

вагоны. Дополнительная потребность в локомотивах при проведении «окна» определяется как:

$$\Delta M_{\text{лок}} = \frac{\gamma_{\text{лок}} \cdot \Delta n_{\text{ваг}}}{m_{\text{ваг}}}, \quad (13)$$



где  $\gamma_{\text{лок}}$  – коэффициент потребности локомотивов на одну пару грузовых поездов, учитывающий дополнительную потребность в локомотивном парке для обеспечения бесперебойного движения поездов.

Снижение производительности локомотивов ( $\Delta\omega_{\text{лок}}$ ) при проведении «окна» фиксируется по зависимости:

$$\Delta\omega_{\text{лок}} = \omega_{\text{л.пл}} - \frac{\sum_{\lambda=1}^{\lambda} P_{\text{лок нетто}} \cdot L_{\text{лок}}}{\gamma_{\text{нетто}} \cdot (M_{\text{п.лок}} + \Delta M_{\text{лок}})}, \quad (14)$$

где  $\omega_{\text{л.пл}}$  – плановая среднесуточная производительность поездного локомотива, тыс. тонно-км брутто;

$$\sum_{\lambda=1}^{\lambda} P_{\text{лок нетто}} \cdot L_{\text{лок}} - \text{объём перевозок}$$

локомотивами, тыс. т • км нетто;

$\gamma_{\text{нетто}}$  – коэффициент перевода т • км нетто в т • км брутто (ориентировочно  $\gamma_{\text{нетто}} = 0,67$ );

$\Delta M_{\text{п.лок}}$  – плановое количество парка локомотивов.

Общая зависимость для оценки потерь перевозочного процесса:

$$P_{\text{д}} = \mathcal{E}_{\text{пр}} + (I + \psi) \cdot T_{\text{Р}}, \text{ руб.}, \quad (15)$$

где  $T_{\text{Р}}$  – время (продолжительность) возможных потерь перевозочного процесса при оценке затрат в результате наступления нежелательного события или возникновения нежелательной ситуации (риска), часы (сутки);

$\psi$  – вероятность возникновения нежелательного события или возникновения нежелательной ситуации (риска).

При определении суммы текущих издержек инфраструктуры железнодорожного транспорта используются расходные ставки, зависящие от затраченных бригадо-часов локомотивных бригад, локомотиво-километров, локомотиво-часов, стоимости электроэнергии и так далее.

В качестве примера на рис. 1 представлены расчёты оптимальной продолжительности «окна» при выполнении капитального ремонта пути на новых материалах (восстановления пути после происшеств-

вия) с учётом затрат смежных хозяйств инфраструктуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, методикой учтены:

- определение минимума приведенных затрат на ремонты с учетом дополнительных расходов в инфраструктуре и потерь перевозочного процесса при выборе продолжительности «окон» для путевых работ;
- риски возникновения дополнительных затрат и снижения доходов при выбранном режиме путевых работ, обеспечивающих минимизацию потерь в ходе ликвидации последствий происшествия;
- затраты на остановку движения поездов, вызванных «окнами», и компенсацию потерь на их перемещение по участку (риска снижения доли дохода ОАО «РЖД»);
- затраты в путевом хозяйстве при выборе продолжительности «окон» для путевых работ, обеспечивающих минимизацию потерь времени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены министром путей сообщения РФ 26.05.2000 г. ЦРБ-756.
2. Методические указания «Регламент действий работников хозяйства перевозок, связанных с движением поездов в аварийных и нестандартных ситуациях». Утверждены ОАО «РЖД» 14 декабря 2007 г.
3. Стандарт ОАО «РЖД» 1.02.007–2006. Безопасность железнодорожных перевозок. Расчет эксплуатационных показателей безопасности функционирования технических средств хозяйства пути и сооружений.
4. Инструкция о порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на железных дорогах ОАО «РЖД» от 26 октября 2007 г. Введена с 01.01.2008 г. распоряжением № 2047р.
5. «Определение нормативной продолжительности технологического «окна» в различных эксплуатационных условиях, в том числе и с учётом применения новой путевой техники». Утверждена ОАО «РЖД», 2010 г.
6. Об утверждении и вводе в действие инструктивных указаний по организации аварийно-восстановительных работ на железных дорогах ОАО «Российские железные дороги». Распоряжение от 26 декабря 2011 г. N2792р.
7. Технический регламент «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». Утвержден постановлением правительства РФ от 15.07.2010 г. № 525. ●

Координаты автора: **Коваленко Н. И.** – kni50@mail.ru., **Коваленко А. Н.** – Alexnikkovalenko@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 25.02.2016, принята к публикации 28.05.2016.