

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 16-18 сентября 2008 г., г. Алматы, Республика Казахстан

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 3-6 ноября 2008 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 6 ноября 2008 г.

Примечание. Теряет силу I издание Памятки от 21.06.1991 г.

**Р
774/5**

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ УСТАЛОСТИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ОСЕВЫХ И ПОГОННЫХ НАГРУЗОК

Эти рекомендации могут быть использованы дорогами – членами ОСЖД в качестве основы для разработки национальных норм по оценке остаточного усталостного ресурса элементов металлических пролетных строений железнодорожных мостов, учитывающих условия эксплуатации, конструктивные особенности и нормы расчета пролетных строений мостов конкретных стран.

Разработанная методика оценки остаточного усталостного ресурса пролетных строений содержит:

- оценку усталостной долговечности элементов пролетных строений;
- оценку усталостной наработки пролетных строений к рассматриваемому моменту времени;
- определению остаточного усталостного ресурса пролетных строений.

I. ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗКОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Под усталостной долговечностью или усталостным ресурсом элемента пролетного строения понимается продолжительность работы пролетного строения под поездной нагрузкой от начала его эксплуатации до образования в элементе усталостной трещины с заданной степенью вероятности.

Для практических расчетов усталостную долговечность удобно выражать числом некоторых расчетных эталонных поездов, которое может пропустить пролетное строение с начала эксплуатации до появления в нем усталостных трещин. При расчете усталостной долговечности за эталонный принят грузовой поезд, схема которого показана на рис. 1.1.

Расчетная усталостная долговечность элемента в числе эталонных поездов определится по формуле

$$N_p = \frac{D_p}{D_1} \quad (1.1),$$

где: N_p – расчетная усталостная долговечность (расчетный ресурс) элемента в эталонных поездах;

D_p – допускаемая суммарная величина накопленных усталостных повреждений в элементах, при которых в них с заданной вероятностью образуется усталостная трещина;

D_1 – усталостное повреждение тех же элементов, вызванное прохождением по пролетному строению одного эталонного поезда.

ЭТАЛОННЫЙ ПОЕЗД

Nóí ě r đĩ Í çär

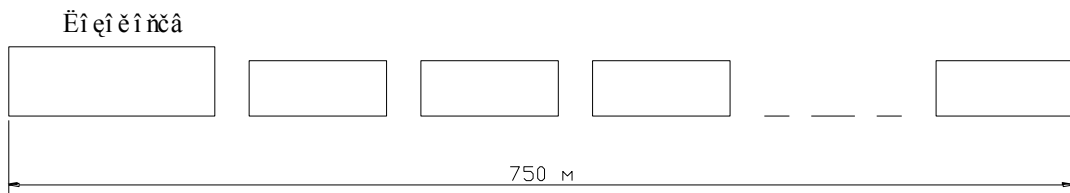
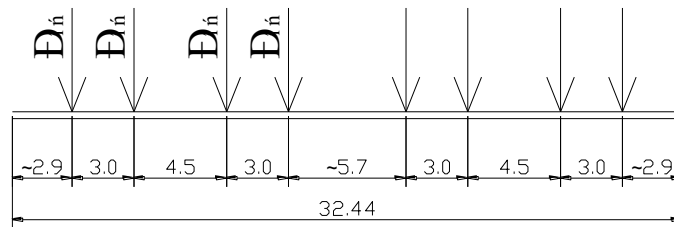
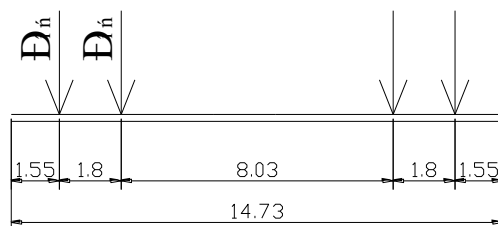
Nóí ě r ě ĩ ě ĩ çä r. $D_n=228,1$ çĩNóí ě r ä r ä ĩ ĩ r. $D_n=203,1$ çĩ

Рис.1.1

Значение допускаемых величин накопленных относительных усталостных повреждений D_p определено на основании статистической обработки данных усталостных разрушений (отказов) элементов эксплуатируемых пролетных строений. На рис. 1.2 показана гистограмма и кривая теоретической плотности распределения D_p , построенные на основании данных по усталостным повреждениям около 200 раскосов главных ферм клепаных пролетных строений железнодорожных мостов. Срок эксплуатации этих пролетных строений до появления в них усталостных трещин составлял от 25 до 65 лет. Полученные результаты показывают, что гистограмма удовлетворительно аппроксимируется кривой нормального распределения со статистиками: математическое ожидание $m_{D_p} = 0,75$ и стандарт $G_{D_p} = 0,21$.

На основании этих данных значение D_p с вероятностью $p = 0,98$ для клепаных соединений элементов решетки главных ферм было принято равным $D_p = 0,3$.

Аналогичные статистические исследования усталостных разрушений элементов проезжей части клепаных пролетных строений показали, что расчетная величина повреждений в них до появления усталостной трещины при вероятности $p = 0,98$ составляет примерно $D_p = 0,28$.

Значение D_1 величины усталостного повреждения элемента от одного эталонного поезда вычисляется по формуле

$$D_1 = \sum_i \sum_j \frac{n_{i,j}}{N_{i,j}} \quad (1.2),$$

где: i, j – индексы уровней максимальных напряжений цикла $\sigma_{\max i}$ и коэффициентов асимметрии цикла R_{σ_i} в элементе;

$n_{i,j}$ – число циклов данного уровня;

$N_{i,j}$ – предельное число циклов до разрушения при циклической нагрузке с параметрами $\sigma_{\max i}$ и R_{σ_i} при вероятности отказа $p = 0,5$.

Гистограмма и кривая теоретической плотности распределения Д

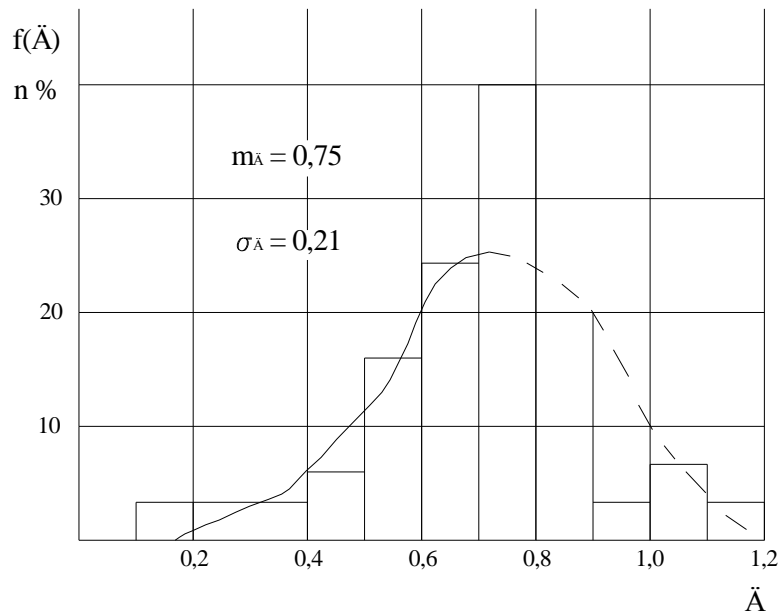


Рис.1.2

Массив значений $N_{i,j}$, характеризующих совокупность циклов напряжений, возникающих в элементах пролетных строений при прохождении эталонного поезда находится "прокатыванием" его по линии влияния усилий элемента справа налево. При этом схема поездной нагрузки размещается на линии влияния так, чтобы получить максимальное и минимальное напряжение в каждом цикле нагрузки $N_{i,j}$.

Значения предельного числа циклов до разрушения $N_{i,j}$ определяются по расчетным значениям характеристик сопротивления усталости клепаных соединений из уравнений их кривой усталости.

При оценках усталостной долговечности элементов клепаных пролетных строений применяются следующие уравнения кривых усталости:

$$N = C \sigma_{\max}^{-m} \quad (1.3),$$

$$\lg N = AB \frac{1}{1 - R_\sigma} \left(\frac{\sigma_\sigma^1}{\sigma_{\max}} - 1 \right)^{C_1} \quad (1.4),$$

здесь: N – количество циклов переменных напряжений σ_{\max} ;
 σ_{\max} – максимальное напряжение цикла;

R_σ – коэффициент асимметрии цикла;

σ_σ^1 – условный предел прочности клепаного соединения (условное напряжение, при котором соединение, разрушается при одном цикле нагрузки);

A, B, C, C_I – параметры уравнения линии выносливости, зависящие от типа соединения и определяемые экспериментально.

При использовании уравнения 1.3 все возникающие в элементе при проходе поезда циклы напряжений приводятся к пульсирующему при $R_\sigma = 0$. При использовании уравнения (1.4) этого делать не следует, т.к. оно в прямом виде учитывает циклы различной асимметрии.

Численные значения параметров уравнений линий выносливости приведены в таблицах 1.1 – 1.3.

Таблица 1.1

Величины коэффициентов A, B, C_I

Вид соединения с заклепками	A	B	C_I
- односрезными	3,468	1,100	0,245
- двухсрезными	3,598	1,100	0,245

Таблица 1.2

Величины σ_σ^1 для малоуглеродистых сталей

Соединение с ослабленными заклепками	Соединение с плотными заклепками	
	односрезные	двухсрезные
392,4	$392,4+24,53 n_3$	$392,4+44,15 n_3$

Примечание. n_3 – число заклепок в первом ряду соединения.

Таблица 1.3

Величины m, c

Элементы	m	c
Верхние пояса продольных балок в месте образования "выколов"	6	$3,04 \cdot 10^{14}$
Односрезное клепаное соединение фасонок - "рыбок" в прикреплении продольных балок проезжей части и поперечной балки.	4	$2,08 \cdot 10^{14}$
Вертикальные уголки, прикрепляющие стеки продольных балок к стенке поперечной балки (в креплениях без "рыбок")	7,6	10^{14}
Заклепки (болты), работающие на отрыв головок при "риске" $l = 50$ мм	5,4	10^{12}
то же при "риске" $l = 70$ мм	5,4	10^{11}

При расчете величин N_i по формулам (1.3) и (1.4) максимальные напряжения циклов и их асимметрия определяются по следующим формулам:

- в элементах решетки главных ферм:

$$\sigma_{\max i} = [\sigma_m + (1 + \mu_0)\sigma_a] + \sigma_{CB} \quad (1.5);$$

$$\sigma_{\min i} = [\sigma_m - (1 + \mu_0)\sigma_a] + \sigma_{CB} \quad (1.6);$$

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{\min i}}{\sigma_{\max i}} \quad (1.7),$$

где: σ_m – среднее напряжение цикла;

σ_a – амплитуда напряжений цикла;

σ_{CB} – напряжение от собственного веса пролетного строения;

$1 + \mu_0$ – динамический коэффициент, равный $1 + \frac{12}{30r\lambda}$, где λ – длина линии

влияния.

При необходимости приведения циклов переменных напряжений к пульсирующим ($R_\sigma = C$) пользуются формулой

$$\sigma_{\max 0} = \frac{\sigma_\sigma \sigma_{\max i} (1 - R\sigma_i)}{\sigma_\sigma - \sigma_{\max i} R\sigma_i} \quad (1.8),$$

где: $\sigma_{\max i}$ – максимальное напряжение i -го цикла;

σ_σ – временное сопротивление разрыву материала элемента;

$R\sigma_i$ – коэффициент асимметрии i -го цикла.

- в элементах прикрепления продольных балок к поперечным:

1. В фасонках - "рыбках" узлового прикрепления

$$\sigma_{\max i} = \frac{M_{\max i}}{hF_H} \quad (1.9);$$

$$\sigma_{\min i} = \frac{M_{\min i}}{hF_H} \quad (1.10);$$

где: $M_{\max, i}$; $M_{\min, i}$ – максимальная и минимальная величины опорного момента в i – цикле переменных усилий при прокатывании эталонного поезда по линии влияния опорных моментов;

h – расстояние между нижней и верхней фасонками - "рыбками";

F_H – сечение нетто "рыбки" по первому ряду заклепок, считая от поперечной балки.

2. Вертикальные уголки в прикреплении стенки продольных балок к стенке поперечной балки (в прикреплениях без фасонки - "рыбок")

$$\sigma_{\max i} = \frac{M_{\max i}}{W2F} \quad (1.11);$$

$$\sigma_{\min i} = \frac{M_{\min i}}{W2F} \quad (1.12);$$

$$W = \sum_1^i \frac{y_i^2}{y_{\max}} \quad (1.13),$$

где: y_i – расстояние от центральной оси заклепочного поля вертикальных уголков до i -й заклепки в верхней зоне прикрепления;

y_{max} – расстояние от центральной оси до крайней заклепки.

Центральная ось заклепочного поля располагается от наиболее нагруженной крайней заклепки на расстоянии, равном 0,6 высоты прикрепления.

σ - расчетное сечение полки вертикального уголка, определяемое по формуле

$$F = \sigma \cdot a \quad (1.14);$$

Здесь a - толщина полки уголка;

- длина полки, равная шагу заклепок, на участке между двумя крайними заклепками (рис.1.3).

3. Крайние заклепки, прикрепляющие полки вертикальных уголков к стенке поперечной балки и работающие на отрыв головок

$$\sigma_{maxi} = \frac{M_{maxi} K}{W 2 F_3} \quad (1.15);$$

$$\sigma_{mini} = \frac{M_{mini} K}{W 2 F_3} \quad (1.16),$$

где: F_3 – площадь поперечного сечения заклепок;
 K – коэффициент, учитывающий увеличение действующего на заклепку отрывающего усилия вследствие рычажного воздействия прикрепляемой к стенке поперечной балки полки вертикального уголка при его размалковке под действием отрывающей силы.

Расчетное сечение полки вертикального уголка

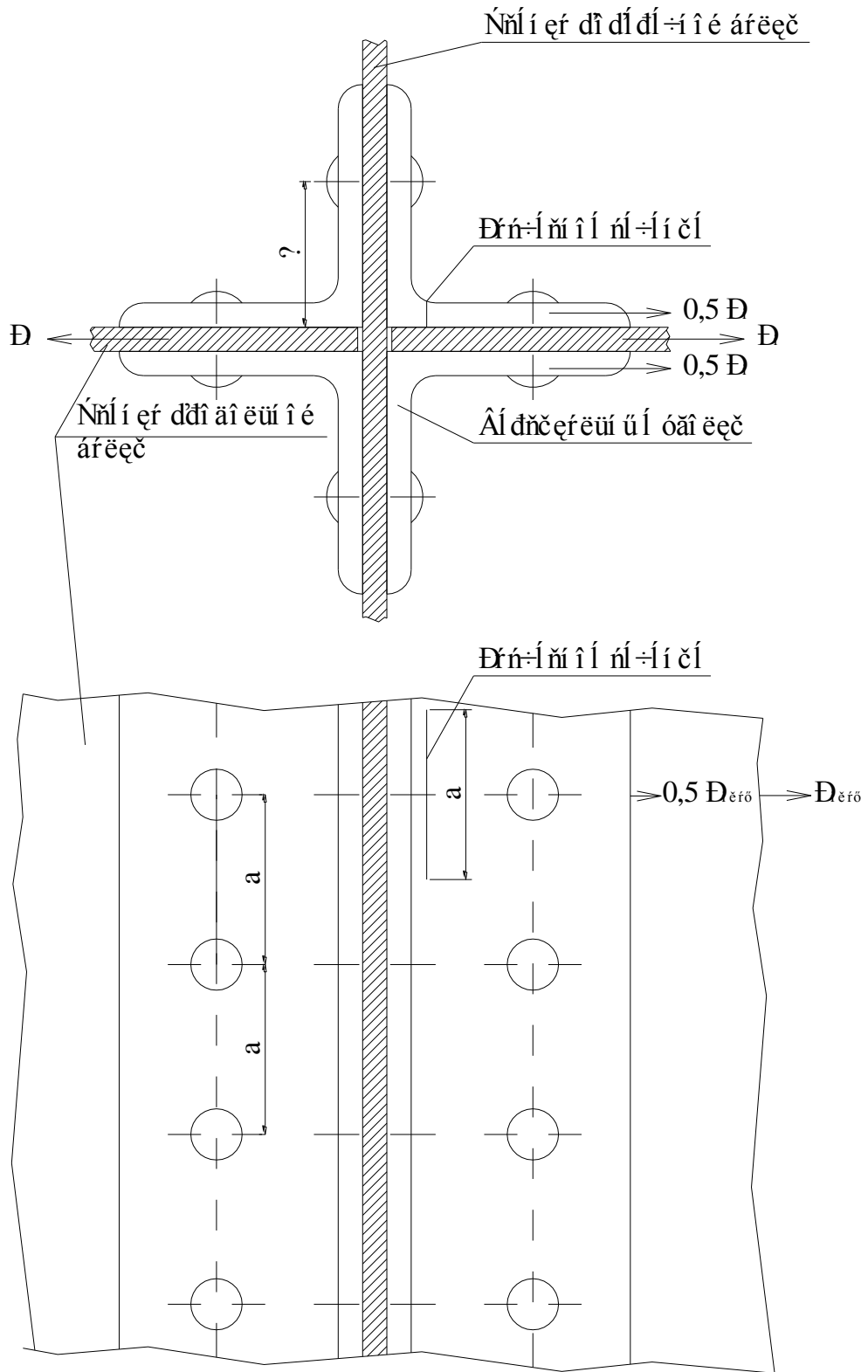


Рис. 1.3

Величина K , определяется по формуле

$$K=1+0,7 \cdot 10^4 \cdot l(0,3l-1) \quad (1.17),$$

где l – расстояние от обушка уголка до "риски" расположения заклёпок, прикрепляющих полку вертикального уголка к стенке поперечной балки (рис. 1.4).

4. Верхние пояса продольных балок без горизонтального листа

$$\sigma_{\max} = (0,18\epsilon + 0,57) \frac{U}{\bar{b}^2} \quad (1.18).$$

Для поясов с горизонтальным листом

$$\sigma_{\max} = (0,24\epsilon + 1,23) \frac{U}{(\bar{b}^1)^2} \quad (1.19),$$

$$\sigma_{\min} = 0$$

где: ϵ – ширина полки уголка;

\bar{b} – толщина полки уголка;

\bar{b}^1 – приведённая толщина полки, равная $0,73 (\bar{b} + \bar{b}_l)$, где \bar{b}_l – толщина горизонтального листа;

U – давление мостового бруса на пояс, определяемое по формулам:

от поездов с 4-х осными вагонами $U = 0,346P - 2$ кН;

от поездов с 6-ти осными вагонами $U = 0,4P + 2$ кН;

от поездов с 8-ми осными вагонами $U = 0,3P + 1$ кН.

Среднее число циклов $\sum n_i$ от поезда принимается равным числу тележек в поезде.

Расчётную усталостную долговечность в числе эталонных поездов целесообразно выполнять на ЭВМ, используя программу RESOURS, блок-схема которой приведена на рис. 1.5.

Отрывающие усилия, действующие на заклёпки (болты)

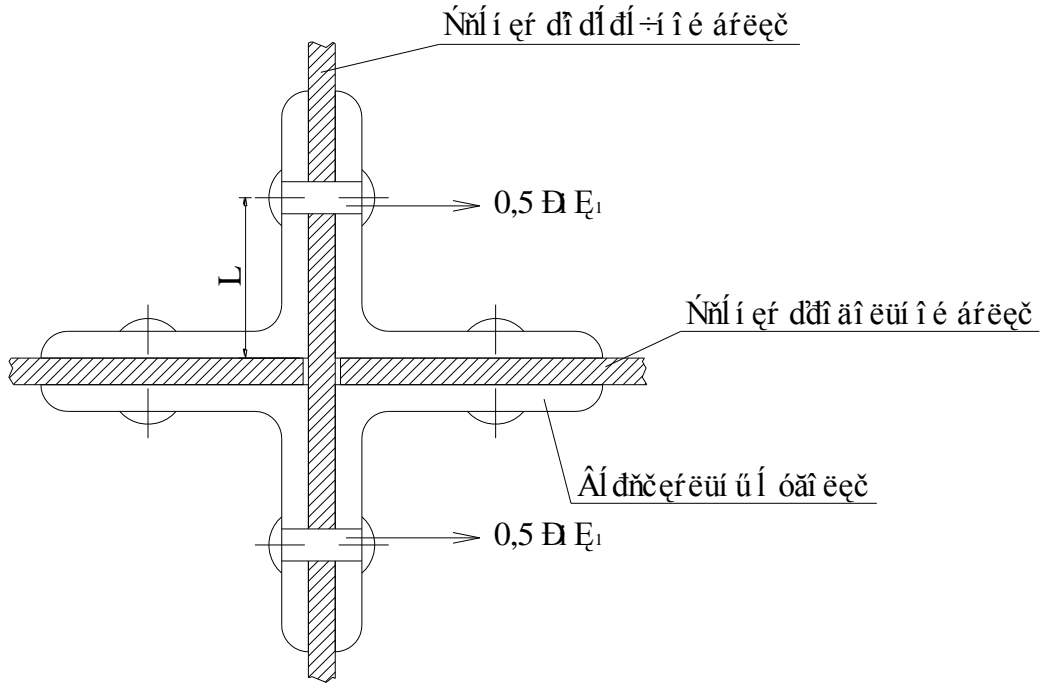


Рис. 1.4.

Блок-схема программы RESOURS

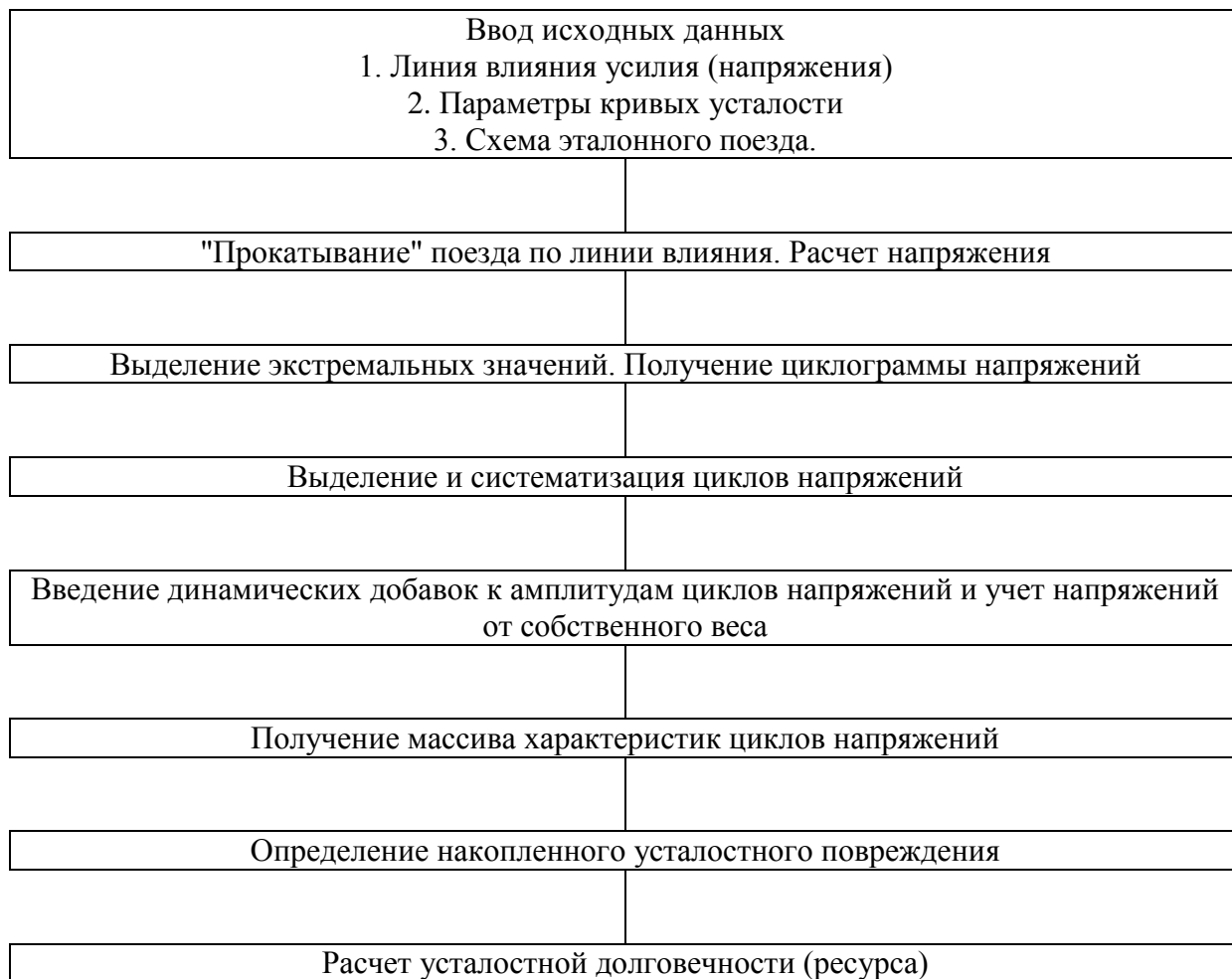


Рис. 1.5

2. ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ НАРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Под наработкой элементов пролетных строений понимается продолжительность работы элемента под воздействием поездной нагрузки за некоторый рассматриваемый промежуток времени. Нарботка элементов N_H , выраженная числом эталонных поездов, определяется по формуле

$$N_H = \sum_i n_i K_{ni} \quad (2.1),$$

где: n_i – число поездов i -го типа, прошедших по пролетному строению и рассматриваемому моменту времени;
 K_{ni} – коэффициент наработки поездов i -го типа.

Определение n_i числа поездов i -го типа, прошедших по пролетному строению с начала его эксплуатации до рассматриваемого момента времени производится по данным статистической отчетности железных дорог. С этой целью анализируются годовые отчеты по использованию подвижного состава на рассматриваемых железнодорожных участках, расписание движения пассажирских поездов, данные о проценте порожнего пробега грузовых вагонов (ППГ), а также данные об изменении интенсивности дви-

жения поездов по сети железных дорог за определенный период времени, полученные на основании специальных статистических исследований. Методика определения числа поездов различного типа, прошедших по пролетному строению принята следующей:

1. На основе статистической отчетности железных дорог определяется среднесуточное количество грузовых $n_{груз}^{сум}$ и пассажирских поездов $n_{пасс}^{сум}$, проходящих по рассматриваемому участку (табл. 2.1), а также процент порожнего пробега вагонов ППП в выбранном расчетном году (например 1=50).

2. Определяется общее количество грузовых поездов, прошедших по мосту за период с начала его эксплуатации по принятый расчетный год включительно по формуле

$$n_{Г} = n_{1Г} + n_{2Г} + n_{3Г} \quad (2.2),$$

где: $n_{1Г}$ – количество грузовых поездов, прошедших на участке за выбранный расчетный год, определяемое по формуле

$$n_{1Г} = 365 n_{груз}^{сум}$$

$n_{2Г}$ – количество грузовых поездов, прошедших по участку за период с 1-го года по выбранный расчетный год, определяемое по формуле

$$n_{2Г} = n_{1Г} \cdot K_2 \quad (2.3),$$

где: K_2 – коэффициент, учитывающий изменение интенсивности движения поездов за период с 1-го года по выбранный расчетный год t_i и принимаемый по табл. 2.1. соответственно расчетному году.

П р и м е ч а н и е. Если пролетное строение введено в эксплуатацию после 1940 г., то коэффициент K_2 рассчитывается по формуле

$$K_2 = K_{РГ} - K_{ГП} \quad (2.4),$$

где: $K_{РГ}$ – расчетный год;

$K_{ГП}$ – год постройки пролетного строения;

- количество грузовых поездов, прошедших по пролетному строению за период эксплуатации до 1-го года, определяемое по формуле

$$n_{3Г} = 0,8 (n_{1Г} + n_{2Г}) \frac{T_3}{T_2} \quad (2.5),$$

где: T_2 – промежуток времени в годах от расчетного 1-го года до t_i (в данном случае 50 лет);

T_3 – промежуток времени в годах от 1-го года до года постройки пролетного строения.

Величины коэффициентов K_2 , вырастающие отношение суммарного числа поездов к рассматриваемому году в единицах грузопотока за 1-й год

ti	Число поездов	ti	Число поездов	ti	Число поездов	ti	Число поездов
1	1,58	14	4,86	27	11,58	40	22,20
2	1,72	15	5,23	28	12,27	41	23,15
3	1,87	16	5,63	29	12,98	42	24,11
4	2,03	17	6,05	30	13,72	43	25,08
5	2,40	18	6,49	31	14,48	44	26,06
6	2,60	19	6,95	32	15,26	45	27,06
7	2,83	20	7,44	33	16,06	46	28,07
8	3,06	21	7,96	34	16,88	47	29,09
9	3,31	22	8,50	35	17,72	48	30,42
10	3,59	23	9,06	36	18,58	49	31,46
11	3,87	24	9,65	37	19,46	50	32,21
12	4,18	25	10,27	38	20,36		
13	4,51	26	10,91	39	21,27		

3. Количество пассажирских поездов $n_{пасс}$, прошедших по пролетному строению за период от ввода его в эксплуатацию до расчетного года определяется по аналогичным формулам.

4. Поскольку различные типы грузовых поездов оказывают разное повреждающее воздействие на элементы пролетных строений, в связи с этим полученное расчетом по формуле общее количество грузовых поездов следует разделить по повреждающим признакам: порожние, груженные с двухосными вагонами старого типа, с современными вагонами, с перспективными вагонами.

Количество груженных грузовых поездов может быть с достаточной степенью точности определено по формуле

$$n_{груж} = n_{Г} \left[1 - \left(\frac{ППП}{100} \right)^2 \right] \quad (2.6),$$

где: $n_{Г}$ – общее количество грузовых поездов;
 $n_{груж}$ – количество груженных поездов;
 ППП – процент порожнего пробега вагонов.

Количество порожних грузовых поездов $n_{порож}$ определяется по формуле

$$n_{порож} = n_{Г} - n_{груж} \quad (2.7).$$

Детализация грузовых поездов по типам вагонов, типам тяги поездов (электровозная, тепловозная, паровая) производится на основе консультаций со специалистами служб движения дороги.

Коэффициенты наработки K_{ni} определяются как отношение величины относительного усталостного повреждения в элементе пролетного строения от поезда i -го типа D_i к относительному усталостному повреждению в этом же элементе от эталонного поезда D_1

$$K_{ni} = \frac{D_i}{D_1} \quad (2.8).$$

Определение относительных усталостных повреждений D_i от поездов i -го типа производится по такой же расчётной схеме, как и относительных усталостных повреждений от эталонного поезда (см. раздел 1).

В табл. 2.2 – 2.6 приведены значения коэффициентов наработки K_{ni} .

Таблица 2.2

**Коэффициенты наработки K_{ni} для груженых поездов
при двухзначных линиях влияния**

l , м	Паровозная тяга (кроме ФД)		ФД		Электровозная тяга		Тепловозная тяга		Поезда перспективы			
	с=0	с=0,5	с=0	с=0,5	с=0	с=0,5	с=0	с=0,5	Т _ц		Т _{пр}	
									с=0	с=0,5	с=0	с=0,5
20	1,2	1,0	1,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	0,7	1,0	0,6
30	2,0	1,1	2,5	1,6	1,3	1,1	1,2	1,1	3,4	2,0	5,0	0,6
35	2,4	1,2	3,5	2,2	1,4	1,2	1,5	1,2	4,5	2,6	6,8	0,7
40	2,5	1,4	4,7	2,6	1,6	1,2	1,5	1,3	6,0	2,7	7,9	1,3
45	2,5	2,3	5,4	3,2	1,7	1,2	1,5	1,8	6,9	2,8	8,5	2,5
50	2,3	2,5	4,5	3,7	1,6	1,6	1,4	1,8	7,4	2,6	8,9	3,0
55	2,0	2,4	3,2	4,3	1,5	1,7	1,4	1,8	7,5	2,4	9,2	3,2
60	1,8	2,2	2,8	4,3	1,4	1,7	1,3	1,7	7,4	2,5	9,3	3,3
70	1,6	2,1	2,6	4,2	1,4	1,6	1,3	1,6	7,3	2,7	9,5	3,5
80	1,6	1,9	2,5	3,4	1,4	1,5	1,3	1,4	6,6	3,0	9,6	3,7
90	1,5	1,8	2,4	3,3	1,3	1,4	1,3	1,4	6,5	3,2	9,7	3,8
100	1,5	1,7	2,2	3,0	1,3	1,4	1,3	1,3	6,2	3,4	9,6	4,0
110	1,4	1,6	2,1	2,5	1,3	1,4	1,2	1,3	5,8	3,4	9,2	4,0
120	1,3	1,6	1,8	2,4	1,2	1,3	1,2	1,3	5,2	3,5	9,0	4,1
130	1,2	1,6	1,6	2,4	1,2	1,3	1,2	1,3	4,8	3,5	8,4	4,2

Примечание. 1. В таблицах значений коэффициентов наработки $c=a/l_i$ где a – расстояние от вершины положительного участка линии влияния до ее ближайшего конца, l – полная длина линии влияния. 2. Для значений K_n , выходящих за пределы таблиц, величина K_n принимается по первой или последней строке таблиц.

Таблица 2.3

**Коэффициенты наработки K_{ni} для порожних и пассажирских поездов
при двухзначных линиях влияния**

l , м	Паровозная тяга (кроме ФД)		ФД		Электровозная тяга		Тепловозная тяга		Поезда перспективы			
	с=0	с=0,5	с=0	с=0,5	с=0	с=0,5	с=0	с=0,5	Т _ц		Т _{пр}	
									с=0	с=0,5	с=0	с=0,5
20	0,3	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1
30	0,8	0,2	2,5	0,4	0,6	0,2	0,2	0,2	0,9	0,5	0,4	0,1
35	2,0	0,3	4,0	0,5	1,1	0,2	0,3	0,3	1,1	0,7	1,0	0,2
40	2,3	0,4	5,0	1,0	1,5	0,3	0,4	0,4	1,1	0,9	1,6	0,3
45	2,3	1,2	5,3	1,6	1,7	1,1	0,9	0,5	1,1	1,1	1,5	1,0
50	1,6	1,7	3,7	2,6	1,2	1,2	1,0	0,5	1,0	1,2	1,2	1,4
55	1,0	1,8	2,2	3,4	0,8	1,2	0,9	1,1	0,7	1,1	1,0	1,4
60	0,8	1,7	1,9	4,8	0,7	1,1	0,8	0,8	0,6	1,0	0,8	1,3
70	0,6	1,5	1,6	3,5	0,6	1,0	0,5	0,6	0,5	0,8	0,6	1,2
80	0,5	1,2	1,1	2,5	0,5	0,9	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,9
90	0,5	1,0	0,7	2,2	0,4	0,8	0,2	0,5	0,3	0,5	0,4	0,8
100	0,4	0,8	0,5	2,0	0,4	0,7	0,2	0,4	0,3	0,5	0,3	0,7
110	0,4	0,7	0,4	1,8	0,3	0,6	0,2	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6
120	0,3	0,6	0,5	1,6	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5
130	0,3	0,6	0,5	1,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,5

Таблица 2.4

**Коэффициенты наработки для груженых поездов
при однозначных линиях влияния**

l, м	Паровозная тяга (кроме ФД)		ФД		Электровоз- ная тяга		Тепловозная тяга		Поезда перспективы			
									T _ц		T _{пр}	
	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5
5	–	1,1	–	1,1	–	1,1	–	1,1	–	1,1	–	0,1
10	–	1,1	–	1,2	–	1,1	–	1,1	–	1,2	–	0,2
12	–	1,1	–	1,3	–	1,1	–	1,1	–	1,3	–	0,3
14	–	1,2	–	1,6	–	1,1	–	1,2	–	1,5	–	0,8
16	–	1,6	–	2,3	–	1,2	–	1,4	–	1,1	–	1,7
18	–	2,5	–	3,0	–	1,6	–	1,8	–	3,5	–	3,5
20	3,0	2,5	5,0	3,5	1,6	1,7	1,8	1,9	7,0	4,8	7,0	6,0
30	3,0	2,4	5,7	4,7	1,5	1,8	1,7	1,7	7,4	8,8	7,8	7,5
40	2,5	2,0	4,6	3,8	1,5	1,6	1,7	1,6	6,5	5,5	8,0	8,5
50	2,2	1,8	3,8	3,0	1,5	1,5	1,6	1,3	6,3	5,0	8,4	8,4
60	2,0	1,5	3,5	2,5	1,5	1,3	1,5	1,1	6,3	5,0	8,5	7,8
70	1,9	1,4	3,2	2,2	1,5	1,2	1,5	1,1	6,1	5,2	8,5	7,5
80	1,8	1,3	2,9	2,0	1,4	1,2	1,4	1,1	5,9	5,5	8,6	7,7
90	1,8	1,2	2,7	1,9	1,4	1,2	1,4	1,1	5,8	5,9	8,6	8,0
100	1,7	1,2	2,5	1,7	1,4	1,1	1,3	1,1	5,7	6,0	8,4	8,0
110	1,7	1,1	2,3	1,6	1,3	1,1	1,2	1,1	5,6	6,0	8,0	8,0
120	1,6	1,1	2,1	1,6	1,3	1,1	1,2	1,1	5,5	5,5	7,8	7,9
130	1,6	1,1	2,0	1,6	1,2	1,1	1,2	1,1	5,4	5,4	7,7	7,8

Таблица 2.5

**Коэффициенты наработки K_{ni} для порожних и пассажирских поездов
при однозначных линиях влияния**

l, м	Паровозная тяга (кроме ФД)		ФД		Электровозна я тяга		Тепловозная тяга		Поезда перспективы			
									T _ц		T _п	
	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5	c=0	c=0,5
5	–	0,1	–	0,1	–	0,1	–	0,1	–	0,1	–	0,1
10	–	0,1	–	0,2	–	0,1	–	0,1	–	0,1	–	0,1
12	–	0,2	–	0,3	–	0,1	–	0,1	–	0,2	–	0,1
14	–	0,3	–	0,8	–	0,2	–	0,2	–	0,5	–	0,2
16	–	0,5	–	1,5	–	0,3	–	0,3	–	0,9	–	0,3
18	–	2,4	–	2,5	–	0,8	–	0,8	–	1,1	–	1,0
20	2,7	2,4	5,0	3,5	1,3	1,1	1,1	1,3	1,1	1,2	1,5	1,1
30	2,6	2,4	5,5	5,0	1,4	1,5	1,1	1,2	1,1	1,3	1,5	1,4
40	2,0	1,8	4,2	3,8	1,2	1,4	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4
50	1,4	1,2	2,8	2,5	0,9	1,0	0,5	0,5	0,7	0,8	1,1	1,1
60	1,0	0,8	2,4	1,8	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6	0,4	0,9	0,7
70	0,8	0,6	1,8	1,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,7	0,6
80	0,7	0,5	1,5	1,2	0,6	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,5
90	0,6	0,4	1,4	1,0	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4
100	0,5	0,3	1,2	0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3
110	0,5	0,3	1,0	0,8	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2
120	0,4,	0,2	0,9	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2
130	0,4	0,2	0,8	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2

Коэффициенты наработки K_n элементов прикрепления балок проезжей части от грузовых поездов

Длина панели, м	Элементы	Соединение	Современные поезда					Перспективные поезда			
			ВЛ80+ вагоны 23тс/ось	ВЛ80+ 8-осн. цистерны	ТЭЗ+ вагоны 21тс/ось	ТЭЗ+ вагоны 23тс/ось	Порожние	ВЛ83 +Т _ц -9,5 тс/м	ВЛ83 +Т _{пр} -10,5 тс/м	ВЛ83 +Т -12,5 тс/м	Порожние
3,96	"Рыбки"	Ослабл.	1,2	2,6	0,9	1,2	0,1	3,6	2,4	3,8	0,1
		Плотное	1,3	3,6	0,9	1,3	0,1	4,5	2,4	4,4	0,1
	Заклепки	Не затянутые	1,2	2,1	0,9	1,2	0,1	2,7	1,8	2,7	0,1
	Болты	Затянутые	1,5	8,7	0,9	1,6	0,1	11,8	9,4	24,1	0,1
	Вертикальные уголки		1,3	5,0	0,8	1,3	0,1	4,7	1,5	3,3	0,1
5,51	"Рыбки"	Ослабл.	1,2	4,3	0,9	1,2	0,1	5,1	3,7	4,6	0,2
		Плотное	1,2	7,1	0,9	1,3	0,1	7,1	4,5	6,0	0,2
	Заклепки	Не затянутые	1,2	4,3	0,9	1,2	0,1	5,1	3,7	4,6	0,2
	Болты	Затянутые	1,2	7,1	0,9	1,3	0,1	7,1	4,5	6,0	0,2
	Вертикальные уголки		1,2	12,9	1,1	1,5	0,3	9,6	6,0	10,4	0,8
7,00	"Рыбки"	Ослабл.	1,3	10,0	1,1	1,4	0,2	9,8	9,3	7,5	0,4
		Плотное	1,4	17,6	1,5	1,9	0,2	14,1	13,4	13,2	0,6
	Заклепки	Не затянутые	1,2	5,5	1,1	1,3	0,2	7,0	18,1	8,2	0,4
	Болты	Затянутые	1,5	22,3	1,1	1,8	0,1	37,9	67,3	123,9	0,5
	Вертикальные уголки		1,4	21,5	2,8	3,0	0,7	18,1	23,7	40,1	2,6

3. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО УСТАЛОСТНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Под остаточным усталостным ресурсом понимается оставшийся срок безопасной эксплуатации пролетного строения от некоторого рассматриваемого момента времени до появления в нем с заданной вероятностью усталостных трещин.

Остаточный усталостный ресурс, выраженный числом эталонных поездов, определяется как разность между усталостной долговечностью элемента N_p и его наработкой к рассматриваемому моменту времени N_n

$$N_{ост} = N_p - N_n \quad (3.1).$$

Остаточный усталостный ресурс, выраженный в числе лет $T_{ост}$ оставшейся безопасной эксплуатации пролетного строения можно определить по формуле

$$T_{ост} = \frac{N_{ост}}{\sum_i n_{год,i} K_{ni}} \quad (3.2),$$

где: $N_{ост}$ – остаточный ресурс, выраженный числом эталонных поездов;
 $n_{год,i}$ – число поездов i -го типа, проходящее по пролетному строению за год;
 K_{ni} – коэффициент наработки поездов i -го типа.