



Зависимости времени сортировки состава на вытяжном пути и продолжительности полурейса



Михаил ШМУЛЕВИЧ
Mikhail I. SHMULEVICH

Алексей СТАРИКОВ
Aleksey E. STARIKOV



Шмудевич Михаил Израилевич – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), заместитель директора ЗАО «ПромтрансНИИпроект», Москва, Россия. Стариков Алексей Евгеньевич – инженер ЗАО «ПромтрансНИИпроект», Москва, Россия.

Dependence of Train Sorting Time on the Turnout Track and Duration of Semi-Trip
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 52)

Продолжительность сортировки на вытяжном пути состава определяется по известной формуле $T_{\text{сорт}} = A \cdot g + B \cdot m$. При этом продолжительность всех полурейсов – заезда локомотива за часть состава, её вытягивание на вытяжной путь, сортировки и обратного оттягивания оставшихся вагонов – рассчитывались по формуле $t_{\text{н/р}} = a + b_m$, которая теперь методическими указаниями по нормированию маневровых работ заменена новой. В статье излагаются результаты исследования, позволившего вывести формулу расчёта продолжительности сортировки состава на вытяжном пути исходя из иного расчёта продолжительности полурейсов.

Ключевые слова: железная дорога, вытяжной путь, продолжительность сортировки, продолжительность полурейса, расчётные формулы.

Обычно продолжительность сортировки состава из m вагонов и g отцепов рассчитывается по формуле $T_{\text{сорт}} = A \cdot g + B \cdot m$, где A и B – коэффициенты, величина которых принимается в зависимости от уклона пути следования отцепа и способа организации маневров [1, 2].

Приведенная формула получена исходя из деления состава на части с целью минимизации общей продолжительности сортировки [3], но при выводе указанной формулы продолжительность полурейса определялась по формуле $t_{\text{н/р}} = a + bm$ (где m – количество вагонов в составе), которая в действующих «Методических указаниях по расчету норм времени на маневровые работы» заменена другой. При этом коэффициенты A и B определены статистическими наблюдениями.

В данной статье обосновывается вывод формулы, аналогичной $T_{\text{сорт}} = A \cdot g + B \cdot m$, исходя из действующей методики расчета продолжительности маневрового полурейса с теоретическим выводом коэффициентов.

Формула для определения продолжительности маневрового полурейса, приведенная в [1] взамен формулы $t_{\text{н/р}} = a + bm$, выглядит следующим образом:

$$t_{n/p} = (\alpha_{pt} + \beta_{pt} \cdot m) \cdot \frac{V}{2} + \frac{3,6 \cdot l_{np}}{V}, \text{ сек}, \quad (1)$$

где α_{pt} – коэффициент, учитывающий время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч при разгоне и торможении, в соответствии с [1]

$$\alpha_{pt} = 0,76 \frac{\text{сек}}{\text{км/ч}};$$

β_{pt} – коэффициент, учитывающий дополнительное время на изменение скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч при разгоне и торможении, в соответствии с [1] $\beta_{pt} = 0,13 \frac{\text{сек}}{\text{км/ч}};$

V – допустимая скорость движения при маневрах, км/ч;

l_{np} – длина полурейса, м.

Преобразуем формулу (1):

$$t_{\frac{n}{p}} = (\alpha_{pt} + \beta_{pt} \cdot m) \cdot \frac{V}{2} + \frac{3,6 \cdot l_{np}}{V} =$$

$$= \alpha_{pt} \cdot \frac{V}{2} + \frac{3,6}{V} \cdot l_{np} + \frac{\beta_{pt} \cdot V}{2} \cdot m =$$

$$= \alpha + \beta \cdot l_{np} + \gamma \cdot m, \quad (2)$$

$$\text{где } \alpha = \alpha_{pt} \cdot \frac{V}{2}, \text{ сек}, \quad (3)$$

$$\beta = \frac{3,6}{V}, \text{ сек/м}, \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{\beta_{pt} \cdot V}{2}, \text{ сек}. \quad (5)$$

В общем случае продолжительность маневров на вытяжном пути при делении состава на x частей можно определить по формуле:

$$T = \sum t_3 + \sum t_b + \sum t_c + \sum t_{от}, \text{ сек}, \quad (6)$$

где $\sum t_3$ – продолжительность холостых полурейсов (заезда за частями состава), сек;

$\sum t_b$ – продолжительность полурейсов вытягивания частей состава, сек;

$\sum t_c$ – продолжительность полурейсов осаживания состава на сортировочные пути, сек;

$\sum t_{от}$ – продолжительность полурейсов обратного оттягивания состава на вытяжной путь, сек.

Продолжительность полурейсов заезда за частями состава ($\sum t_3$) можно определить по формуле:

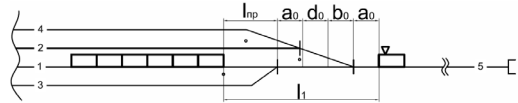


Рис. 1. Схема для расчета продолжительности маневров.

$$\sum t_3 = t_3^{cp} \cdot x, \quad (7)$$

где t_3^{cp} – средняя продолжительность полурейса заезда за частями состава, сек.

Продолжительность полурейсов вытягивания частей состава ($\sum t_b$):

$$\sum t_b = t_b^{cp} \cdot x, \quad (8)$$

где t_b^{cp} – средняя продолжительность полурейса вытягивания частей состава, сек.

Продолжительность полурейсов осаживания состава на сортировочные пути ($\sum t_c$) составляет:

$$\sum t_c = t_c^{cp} \cdot g, \quad (9)$$

где t_c^{cp} – средняя продолжительность полурейса осаживания, сек;

g – количество отцепов в сортируемом составе.

Продолжительность полурейсов обратного оттягивания состава на вытяжной путь ($\sum t_{от}$) определяется формулой (с учетом возврата локомотива после постановки последнего отцепа):

$$\sum t_{от} = t_{от}^{cp} \cdot g, \quad (10)$$

где $t_{от}^{cp}$ – средняя продолжительность полурейса оттягивания состава на вытяжной путь, сек.

Среднюю продолжительность полурейса каждого типа можно определить по формуле:

$$t_{n/p}^{cp} = \alpha + \beta \cdot l^{cp} + \gamma \cdot m^{cp}, \quad (11)$$

где l^{cp} – средняя длина полурейса, м;

m^{cp} – среднее количество вагонов при данном типе полурейса.

Средняя длина полурейса (l_{cp}) определяется как полусумма его минимальной (l_{min}) и максимальной (l_{max}) длины:

$$l_{cp} = \frac{l_{min} + l_{max}}{2}, \text{ м}. \quad (12)$$

Для определения указанных величин рассмотрим схему на рис. 1.

Технология сортировки в рассматриваемом примере такова: сортируемый состав находится на пути 1, маневровый локомотив – на вытяжном пути 5. Состав сортируется по трем назначениям на три пути: 2, 3, 4. Мощность назначений в составе принята одинаковой и составляет для каждого



из трех назначений $m/3$. Маневровый локомотив заезжает на путь 1 за первой частью сортируемого состава, первые отцепы на каждом пути ставятся на расстояние $m_i \cdot l$, где l – длина вагона, m_i – количество вагонов из сортируемого состава, устанавливаемых на i -й путь, т.е. каждый отцеп устанавливается сразу в конечную точку и в процессе сортировки состава не перемещается. Далее пути 2, 3, 4 заполняются в сторону вытяжного пути. Таким образом, после окончания сортировки выделенные назначения находятся в начале сортировочных путей. Такой способ дает минимальную продолжительность маневровых работ.

Отсюда:

1. Для $\sum t_3$ (полурейсы заезда):

Первый полурейс выполняется к голове состава (рис. 1):

$$l_3^{\min} = l_1 = 2 \cdot a_o + d_o + b_o + l_{\text{пр}}, \text{ м}, \quad (13)$$

где l_1 – длина 1-го полурейса заезда, определяется по формуле:

$$l_1 = 2 \cdot a_o + d_o + b_o + l_{\text{пр}}, \text{ м}, \quad (14)$$

здесь a_o – расстояние от стыка рамного рельса до центра стрелочного перевода, м ($a_o = 15$ м);

b_o – расстояние от центра стрелочного перевода до торца крестовины, м ($b_o = 15$ м);

d_o – длина прямой вставки, м ($d_o = 12,5$ м);

$l_{\text{пр}}$ – расстояние от центра стрелочного перевода до предельного столбика, м, ($l_{\text{пр}} = 37$ м).

Заезд за последней частью состава:

$$l_3^{\max} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{x} \cdot (x - 1), \text{ м}. \quad (15)$$

Средняя длина полурейса заезда:

$$l_3^{\text{cp}} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2} - l_b \cdot \frac{m}{2 \cdot x}, \text{ м}. \quad (16)$$

При полурейсах заезда $m = 0$ и из (11) следует:

$$\begin{aligned} \sum t_3 &= \left(\alpha + \beta \cdot \left(l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2} - l_b \cdot \frac{m}{2 \cdot x} \right) + \right. \\ &+ \gamma \cdot 0 \cdot x = \left. \left(\alpha + \beta l_1 + \beta l_b \frac{m}{2} \right) x - \beta l_b \frac{m}{2}. \end{aligned} \quad (17)$$

2. Для $\sum t_b$ (полурейсы вытягивания):

Вытягивание первой части состава:

$$l_e^{\min} = l_1 + l_e \cdot \frac{m}{x}, \text{ м}. \quad (18)$$

Вытягивание последней части состава:

$$l_b^{\max} = l_1 + l_b \cdot m, \text{ м}. \quad (19)$$

Средняя длина полурейса вытягивания:

$$l_b^{\text{cp}} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2} + l_b \cdot \frac{m}{2 \cdot x}, \text{ м}, \quad (20)$$

$$m_b^{\text{cp}} = \frac{m}{x} \text{ (часть состава)}, \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \sum t_e &= \left(\alpha + \beta \cdot \left(l_1 + l_e \cdot \frac{m}{2} + l_e \cdot \frac{m}{2 \cdot x} \right) + \gamma \cdot \frac{m}{x} \right) \cdot x = \\ &= \left(\alpha + \beta l_1 + \beta l_e \frac{m}{2} \right) x + \frac{m}{2} + \gamma m. \end{aligned} \quad (22)$$

3. Для $\sum t_c$ (полурейсы осаживания):

Осаживание последнего отцепа части состава:

$$l_c^{\min} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{g}, \text{ м}, \quad (23)$$

где l_1 – расстояние от остяков стрелочного перевода, ведущего на вытяжной путь, до крайнего (дальнего) предельного столбика сортировочных путей (на рис. 1 совпадает с l_1).

Осаживание всей части состава для постановки первого её отцепа:

$$l_c^{\max} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{x}, \text{ м}, \quad (24)$$

$$l_c^{\text{cp}} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2x} + l_b \cdot \frac{m}{2g}, \text{ м}, \quad (25)$$

$$m_{\min} = \frac{m}{g}, \quad m_{\max} = \frac{m}{x}, \quad m_b^{\text{cp}} = \frac{m \cdot (g + x)}{2gx}, \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \sum t_c &= \left(\alpha + \beta \cdot \left(l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2x} + l_b \cdot \frac{m}{2g} \right) + \right. \\ &+ \gamma \cdot \frac{m \cdot (g + x)}{2gx} \left. \right) \cdot g = \left(\beta l_b + \gamma \right) \frac{mg}{2x} + \\ &+ \left(\alpha + \beta l_1 \right) g + \left(\beta l_b + \gamma \right) \frac{m}{2}. \end{aligned} \quad (27)$$

4. Для $\sum t_{\text{от}}$ (полурейсы обратного оттягивания):

Возвращение локомотива после осаживания последнего отцепа:

$$l_{\text{от}}^{\min} = l_1, \text{ м}. \quad (28)$$

Оттягивание после осаживания первого отцепа части состава:

$$l_{\text{от}}^{\max} = l_1 + l_b \cdot \left(\frac{m}{x} - \frac{m}{g} \right), \text{ м}, \quad (29)$$

$$l_{\text{от}}^{\text{cp}} = l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2x} - l_b \cdot \frac{m}{2g}, \text{ м}, \quad (30)$$

$$m_{\min} = 0, \quad m_{\max} = \frac{m}{x} - \frac{m}{g}, \quad m_b^{\text{cp}} = \frac{m}{2x} - \frac{m}{2g}, \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \sum t_{\text{от}} &= \left(\alpha + \beta \cdot \left(l_1 + l_b \cdot \frac{m}{2x} - l_b \cdot \frac{m}{2g} \right) + \gamma \cdot \left(\frac{m}{2x} - \frac{m}{2g} \right) \right) \cdot g = \\ &= \left(\beta l_b + \gamma \right) \frac{mg}{2x} + \left(\alpha + \beta l_1 \right) g - \left(\beta l_b + \gamma \right) \frac{m}{2}. \end{aligned} \quad (32)$$

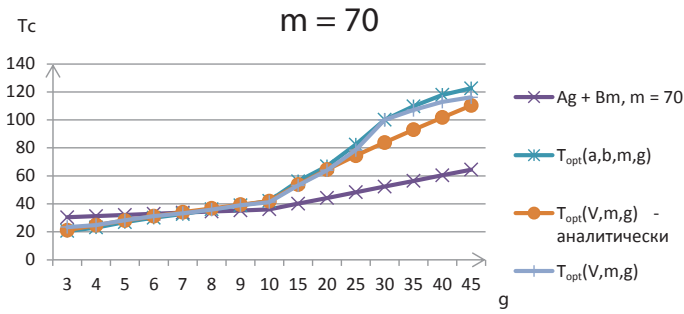


Рис. 2. Продолжительность маневров на вытяжном пути, $m = 70$ вагонов.

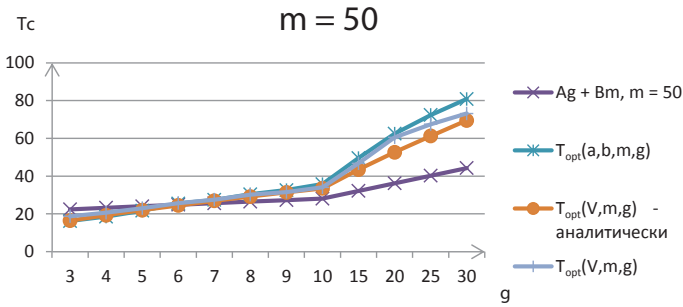


Рис. 3. Продолжительность маневров на вытяжном пути, $m = 50$ вагонов.

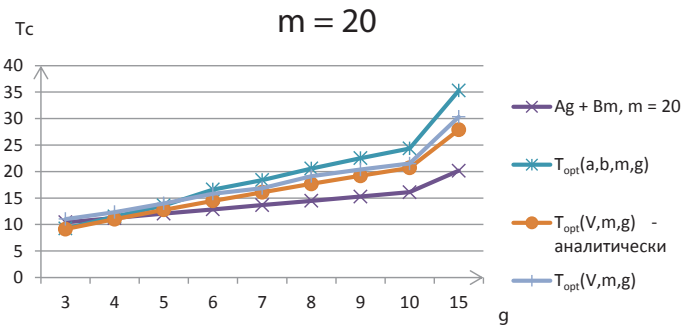


Рис. 4. Продолжительность маневров на вытяжном пути, $m = 20$ вагонов.

Общая продолжительность сортировки состава осаживанием при делении его на x частей:

$$\begin{aligned}
 T &= \sum t_x + \sum t_b + \sum t_c + \sum t_{от} = \\
 &= (\alpha + \beta_1 + \beta_B \frac{m}{2})x - \beta_B \frac{m}{2} + \\
 &+ \gamma m + (\beta_B + \gamma) \frac{mg}{2x} + (\alpha + \beta_r)g + \\
 &+ (\beta_B + \gamma) \frac{m}{2} + (\beta_B + \gamma) \frac{mg}{2x} + (\alpha + \beta_r)g - \\
 &- (\beta_B + \gamma) \frac{m}{2} = 2(\alpha + \beta_1 + \beta_B \frac{m}{2})x + \gamma m + \\
 &+ (\beta_B + \gamma) \frac{mg}{x} + 2(\alpha + \beta_r)g \quad (33)
 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
 T &= 2(\alpha + \beta_1 + \beta_B \frac{m}{2})x + \gamma m + \\
 &+ (\beta_B + \gamma) \frac{mg}{x} + 2(\alpha + \beta_r)g, \text{ сек.} \quad (34)
 \end{aligned}$$

Первая производная по x :

$$\frac{dT}{dx} = 2(\alpha + \beta_1 + \beta_B \frac{m}{2}) - (\beta_B + \gamma) \frac{mg}{x^2}; \quad (35)$$

вторая производная является положительной величиной, поэтому минимум функции T достигается в точке:

$$x = \sqrt{\frac{(\beta_B + \gamma)mg}{2(\alpha + \beta_1) + \beta_B m}}. \quad (36)$$

Формула (36) определяет оптимальное количество частей состава по критерию минимума продолжительности его сортировки осаживанием на вытяжном пути.

Подставив (36) в (34), получим минимальную продолжительность маневров:

$$\begin{aligned}
 T &= 2\sqrt{2(\alpha + \beta_1 + \beta_B \frac{m}{2})(\beta_B + \gamma)mg} + \\
 &+ 2(\alpha + \beta_r)g + \gamma m, \text{ сек.} \quad (37)
 \end{aligned}$$

Формулу (37) можно представить следующим образом:

$$T = A'g + B'm + C'\sqrt{mg}, \quad (38)$$





Таблица 1

Коэффициент A_j

$l_r, м$	$V, км/ч$		
	15	25	40
100	0,99	0,80	0,81
150	1,39	1,04	0,96
200	1,79	1,28	1,11
250	2,19	1,52	1,26
300	2,59	1,76	1,41
350	2,99	2,00	1,56
400	3,39	2,24	1,71
450	3,79	2,48	1,86
500	4,19	2,72	2,01

Таблица 2

Коэффициент B_1 при $V = 15 км/ч$

g, отц	m, ваг						
	10	20	30	40	50	60	70
1	0,23	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16
5	0,49	0,40	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33
10	0,68	0,57	0,52	0,50	0,48	0,47	0,47
15		0,69	0,63	0,61	0,59	0,58	0,57
20			0,73	0,70	0,68	0,66	0,65
25				0,78	0,75	0,74	0,73
30					0,82	0,81	0,79
35						0,87	0,86
40							0,93
45							0,97

Таблица 3

Коэффициент B_1 при $V = 25 км/ч$

g, отц	m, ваг						
	10	20	30	40	50	60	70
1	0,19	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13
5	0,40	0,32	0,30	0,28	0,27	0,26	0,26
10	0,55	0,45	0,41	0,39	0,37	0,36	0,36
15		0,54	0,49	0,47	0,45	0,44	0,43
20			0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
25				0,60	0,57	0,56	0,55
30					0,63	0,61	0,60
35						0,66	0,64
40							0,70
45							0,73

Таблица 4

Коэффициент B_j при $V = 40 км/ч$

g, отц	m, ваг						
	10	20	30	40	50	60	70
1	0,20	0,17	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13
5	0,40	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25	0,25
10	0,55	0,44	0,39	0,37	0,35	0,34	0,33
15		0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40
20			0,54	0,50	0,48	0,46	0,45
25				0,56	0,53	0,51	0,50
30					0,58	0,56	0,54
35						0,60	0,58
40							0,64
45							0,66

где $A' = 2(\alpha + \beta l_r) = \alpha_{пр} \cdot V + \frac{7,2}{V} l_r$, (39)

$B' = \gamma = \frac{\beta_{пр} \cdot V}{2}$, (40)

$$C' = 2 \sqrt{2 \left(\alpha + \beta l_1 + \beta l_B \frac{m}{2} \right) (\beta l_B + \gamma)} = 2 \sqrt{2 \left(\left(\alpha_{пр} \cdot \frac{V}{2} \right) + \left(\frac{3,6}{V} \right) l_1 + \left(\frac{3,6}{V} \right) l_B \frac{m}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{3,6}{V} \right) l_B + \frac{\beta_{пр} \cdot V}{2} \right)}$$
 (41)

Как видно из формул (39)–(41), величины A' , B' не зависят от g и m , а величина C' зависит от m .

Формулу (38) можно представить в более привычном виде:

$T_{сорт} = A_j g + B_j m$, (42)

где $A_j = A'$,

$B_1 = B' + C' \sqrt{\frac{g}{m}} = \gamma + C' \sqrt{\frac{g}{m}} = \frac{\beta_{пр} \cdot V}{2} + C' \sqrt{\frac{g}{m}}$.

С учетом выражений (39)–(41) полученные коэффициенты равны:

$A_1 = \alpha_{пр} \cdot V + \frac{7,2}{V} l_r$, мин/отц. (43)

$$B_1 = \frac{\beta_{пр} \cdot V}{2} + 2 \sqrt{2 \left(\left(\alpha_{пр} \cdot \frac{V}{2} \right) + \left(\frac{3,6}{V} \right) l_1 + \left(\frac{3,6}{V} \right) l_B \frac{m}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{3,6}{V} \right) l_B + \frac{\beta_{пр} \cdot V}{2} \right)}$$

• $\sqrt{\frac{g}{m}}$, мин/ваг. (44)

Таким образом:

$A_j = f(\alpha_{пр}, V, l_r);$
 $B_j = f(\alpha_{пр}, \beta_{пр}, V, m, g);$
 $T = f(\alpha_{пр}, \beta_{пр}, V, l_r, m, g).$

$\alpha_{пр}, \beta_{пр}$ – нормативные коэффициенты, приведенные в [1], по сути отражают технические характеристики маневрового локомотива. Зависимость от них приведена выше.

При фиксированных $\alpha_{пр}, \beta_{пр}$ и l_r $T = f(V, m, g)$, т.е. оптимальная продолжительность маневров на вытяжном пути методом осаживания аналитически выводится с помощью формулы (1) в зависимости от m и g .

Результаты расчетов по формуле (38) для $V = 15 км/ч$ и фиксированном m приведены на рис. 2–4 ($l_r = 94,5 м$). В обозначениях к этим рисункам:

$Ag+Bm$ – продолжительность маневров, рассчитанная исходя из статистических коэффициентов в соответствии с [1];

$T_{opt}(a, b, m, g)$ – оптимальная (при оптимальной величине x) продолжительность маневров, рассчитанная как сумма полурейсов исходя из формулы $t_{н/р} = a + bm$;

$T_{opt}(V, m, g)$ – оптимальная продолжительность маневров, рассчитанная как сумма полурейсов исходя из формулы (1);

$T_{opt}(V, m, g)$ – оптимальная продолжительность маневров, полученная аналитическим способом по формуле (38).

В таблице 1 приведены значения коэффициента A_j в зависимости от скорости при маневрах (V) и длины горловины сортировочного парка (l_p). В таблицах 2–4 приведены значения коэффициента B_j в зависимости от скорости при маневрах (V), количества вагонов (m) и отцепов (g) в составе. Таблицы 1–4 составлены при нормативных значениях $\alpha_{пр}$, $\beta_{пр}$.

Анализ приведенных данных показывает следующее:

– при $m > 50$ и $g < 10$ все четыре подхода дают практически одинаковые результаты, при $m = 20$ результаты совпадают только для $g < 5$;

– при числе отцепов, больше указанных величин, наиболее значительно отличаются от остальных результаты, полученные по традиционной формуле $T_{сорт} = A \cdot g + B \cdot m$, эти результаты существенно ниже полученных при расчетах по полурейсам;

– при длинном сортируемом составе ($m = 50, m = 70$) и значительном числе отцепов ($g > 10$) аналитически выведенная формула дает большую продолжительность сортировки, чем формула, исходящая из статистических данных (с учетом расчета продолжительности полурейсов на основе оптимизированной формулы (1), описанной в статье [4]), причем с увеличением числа g это расхождение растет;

– при малой длине состава ($m = 20$) аналитически выведенная формула дает результаты, практически совпадающие с оптимизированной формулой (1), причем меньше, чем при расчете продолжительности полу-

рейса по формуле $t_{н/р} = a + bm$. Все расхождения растут с увеличением числа отцепов.

Таким образом, аналитически выведенная формула $T_{сорт} = A_j \cdot g + B_j \cdot m$ дает результаты, близкие к полученным при расчете продолжительности сортировки по полурейсам в широком диапазоне значений m и g , и при этом позволяет быстро найти искомые величины (без расчета продолжительности каждого полурейса).

Это особенно важно для проведения оперативной проверки расчетных значений продолжительности маневровой работы, что реализуется при имитационном моделировании процессов на железнодорожной станции в среде AnyLogic [5–11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов (2007 г.).
2. Приказ МПС РФ от 29 сентября 2003 г. № 67 «Об утверждении порядка разработки и определения технологических сроков оборота вагонов и технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов».
3. Кочнев Ф. П., Сотников И. Б. Управление эксплуатационной работой железных дорог: Учеб. пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.
4. Шмулевич М. И., Стариков А. Е. Особенности нормирования маневровой работы в имитационной модели станции // Мир транспорта. – 2015. – № 5. – С. 198–212.
5. Шмулевич М. И., Стариков А. Е. Структура имитационной модели промышленной железнодорожной станции и реализация в системе AnyLogic // Промышленный транспорт XXI век. – 2016. – № 3–4. – С. 20–24.
6. The AnyLogic Company. 2015. AnyLogic – Multimethod Simulation Software. [Электронный ресурс]: <http://www.anylogic.com>. Доступ 29.10.2015.
7. Petersen, E. R. *Railyard Modeling: Part I. Prediction of Put-Through Time*, Transportation Science, 1977, vol. 11, no. 1, February.
8. Baugher, R. Application of Any Logic to Railroad Operation Analysis. *Any Logic Conference*, December, 2013.
9. Lin, E., Cheng, C. Yard Sim. A Rail Yard Simulation Framework and its Implementation in a Major Railroad in the U.S. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference* // Edited by M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin, R. G. Ingalls. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2009, pp. 2532–2541.
10. Clausen, U., Goedicke, I. Simulation of Yard Operations and Management in Transshipment Terminals. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, 2012.
11. Киселева М. В. Имитационное моделирование систем в среде Anylogic: Учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 88 с. ●

Координаты авторов: **Шмулевич М. И.** – mikhail.shmulevich@gmail.com,
Стариков А. Е. – starikovaleksei1992@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 06.05.2016, принята к публикации 18.06.2016.



DEPENDENCE OF TRAIN SORTING TIME ON THE TURNOUT TRACK AND DURATION OF SEMI-TRIP

Shmulevich, Mikhail I., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), CJSC PromtransNIIproekt, Moscow, Russia.

Starikov, Aleksey E., CJSC PromtransNIIproekt, Moscow, Russia.

ABSTRACT

The duration of sorting of the train on the turnout track is determined by the known formula $T_{sort} = A \cdot g + B \cdot m$. At the same time, the duration of all semi-trips – arrival of the locomotive behind the part of the train, its extension to the turnout track, sorting and reverse pulling of the remaining cars – were

calculated according to the formula $t_{s/t} = a + bm$, which is now replaced by a new method for adjusting the shunting operations. The article presents the results of a study that made it possible to derive a formula for calculating the duration of the sorting of a train on the turnout track based on a different calculation of the duration of semi-trips.

Keywords: railway, turnout track, duration of sorting, duration of semi-trip, calculation formulas.

Background. Usually, the sorting time of the composition of m cars and g cuts is calculated by the formula $T_{sort} = A \cdot g + B \cdot m$, where A and B are the coefficients, the value of which is taken depending on the slope of the track of cut motion and the way the maneuvers are organized [1, 2].

The formula given was obtained from the division of the composition into parts in order to minimize the total duration of sorting [3], but in the derivation of this formula the duration of the semi-trip was determined from the formula $t_{s/t} = a + bm$ (where m is the number of cars in the composition), which in «Methodical instructions on the calculation of time norms for shunting work» was replaced by another. The coefficients A and B are determined by statistical observations.

In this paper, we prove the derivation of a formula analogous to $T_{sort} = A \cdot g + B \cdot m$, on the basis of the current methodology for calculating the duration of a shunting semi-trip with a theoretical derivation of the coefficients.

Objective. The objective of the authors is to consider the problem of dependence of train sorting time on the turnout track and duration of semi-trip.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, mathematical calculation, comparative analysis.

Results.

The formula for determining the duration of the shunting semi-trip, given in [1] instead of the formula $t_{s/t} = a + bm$, looks like this:

$$t_{s/t} = (\alpha_{ab} + \beta_{ab} \cdot m) \cdot \frac{V}{2} + \frac{3,6 \cdot l_{st}}{V}, \text{ sec}, \quad (1)$$

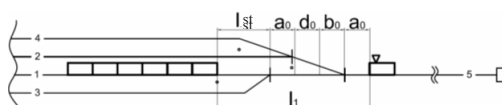
where α_{ab} – coefficient, which takes into account time required for changing speed of motion of a locomotion by 1 km/h at acceleration and braking, in accordance with

$$[1] \alpha_{ab} = 0,76 \frac{\text{sec}}{\text{km/h}};$$

β_{ab} – coefficient, which takes into account additional time for changing speed of motion of each car in the shunting train by 1 km/h at acceleration and braking, in accordance with [1] $\beta_{ab} = 0,13 \frac{\text{sec}}{\text{km/h}};$

V – permissible speed of motion at maneuvers, km/h;
 l_{st} – length of semi-trip, m.

We transform the formula (1):



Pic. 1. Scheme for calculating the duration of maneuvers.

$$t_{s/t} = (\alpha_{ab} + \beta_{ab} \cdot m) \frac{V}{2} + \frac{3,6 \cdot l_{st}}{V} = \alpha_{ab} \frac{V}{2} + \frac{3,6}{V} \cdot l_{st} + \frac{\beta_{ab} \cdot V}{2} \cdot m = \alpha \cdot l_{st} + m, \quad (2)$$

$$\text{where } \alpha = \alpha_{ab} \frac{V}{2}, \text{ sec}, \quad (3)$$

$$\beta = \frac{3,6}{V}, \text{ sec/m}, \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{\beta_{ab} \cdot V}{2}, \text{ sec}, \quad (5)$$

In general, the duration of maneuvers on the turnout track when dividing the composition into x parts can be determined by the formula:

$$T = \sum t_a + \sum t_p + \sum t_s + \sum t_{rp}, \text{ sec}, \quad (6)$$

where $\sum t_a$ – duration of idle semi-trips (arrival to seek for parts of the composition), sec;

$\sum t_p$ – duration of semi-trips of pulling of parts of the composition, sec;

$\sum t_s$ – duration of semi-trips of backing of the composition to the sorting tracks, sec;

$\sum t_{rp}$ – duration of semi-trips of reverse pushing back of the composition to the turnout track, sec.

The duration of semi-trips of arrival to take parts of the composition ($\sum t_a$) can be determined by the formula: $\sum t_a = t_a^{av} \cdot x$, (7)

where t_a^{av} – average duration of a semi-trip of arrival to take parts of the composition, sec.

The duration of semi-trips of pulling of the parts of the composition ($\sum t_p$) is equal to:

$$\sum t_p = t_p^{av} \cdot x, \quad (8)$$

where t_p^{av} – average duration of a semi-trip of pulling of parts of the composition, sec.

The duration of semi-trips of pulling of the composition to the sorting tracks ($\sum t_s$):

$$\sum t_s = t_s^{av} \cdot g, \quad (9)$$

where t_s^{av} – average duration of a semi-trip of pushing back, sec.;

g – number of cuts in the sorted composition.

The duration of semi-trips of reverse pushing back of the composition to the turnout track ($\sum t_{rp}$) is determined by the formula (taking into account the return of the locomotive after the installation of the last cut):

$$\sum t_{rp} = t_{rp}^{av} \cdot g, \quad (10)$$

where t_{rp}^{av} – average duration of a semi-trip of reverse pushing-back of the composition to the turnout track, sec.

The average duration of a semi-trip of each type can be determined by the formula:

$$t_{s/t}^{av} = \alpha + \beta \cdot l^{av} + \gamma \cdot m^{av}, \quad (11)$$

where l^{av} – average length of a semi-trip, m;

m^{av} – average number of cars with this type of a semi-trip.

The average length of a semi-trip (l_{av}) is defined as the half-sum of its minimum (l_{min}) and maximum (l_{max}) length:

$$l_{av} = \frac{l_{min} + l_{max}}{2}, m. \quad (12)$$

To determine these quantities, let's consider the scheme in Pic. 1.

The sorting technology in the example under consideration is as follows: the sorted composition is on the track 1, the shunting locomotive is on the turnout track 5. The composition is sorted in three appointments into three tracks: 2, 3, 4. The power of the appointments in the composition is assumed to be the same and is for each of the three appointments $m/3$. The shunting locomotive drives to track to take the first part of the sorted train, the first trains on each track are put on a distance $m \cdot l$, where l is the length of the car, m is the number of cars from the sorted train to be installed on the i -th tracks, i.e. each cut is installed immediately at the end point and does not move during the sorting process. Further, tracks 2, 3, 4 are filled in the direction of the turnout track. Thus, after the end of sorting, the assigned appointments are at the beginning of the sorting tracks. This method gives the minimum duration of shunting operations.

Hence:

1. For $\sum t_a$ (semi-trips of arrival):

The first semi-trip is done to the head of the train (Pic. 1):

$$l_a^{min} = l_1 = 2 \cdot a_0 + d_0 + b_0 + l_{sp}, m, \quad (13)$$

where l_1 – length of the 1-st semi-trip of arrival, defined by the formula:

$$l_1 = 2 \cdot a_0 + d_0 + b_0 + l_{dp}, m, \quad (14)$$

here a_0 – distance from the junction of the frame rail to the center of the turnout switch, m ($a_0 = 15$ m);

b_0 – distance from the center of the turnout switch to the end of the track crossing, m , ($b_0 = 15$ m);

d_0 – length of the straight insert, m , ($d_0 = 12,5$ m);

l_{dp} – distance from the center of the turnout switch to the distance post, m ($l_{dp} = 37$ m);

Arrival to take the last part of the composition:

$$l_a^{max} = l_1 + l_p \cdot \frac{m}{x} \cdot (x-1), m. \quad (15)$$

Average length of semi-trip of arrival:

$$l_a^{av} = l_1 + l_p \cdot \frac{m}{2} - l_p \cdot \frac{m}{2 \cdot x}, m. \quad (16)$$

In case of semi-trips of arrival $m = 0$ and from (11) it follows:

$$\begin{aligned} \sum t_a &= (\alpha + \beta \cdot (l_1 + l_p \cdot \frac{m}{2} - l_p \cdot \frac{m}{2 \cdot x}) + \gamma \cdot 0) \cdot x = \\ &= (\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \cdot \frac{m}{2} - \beta l_p \cdot \frac{m}{2}) \cdot x. \end{aligned} \quad (17)$$

2. For $\sum t_p$ (semi-trips of pulling):

Pulling of the first part of the composition:

$$l_p^{min} = l_1 + l_p \cdot \frac{m}{x}, m. \quad (18)$$

Pulling of the last part of the composition:

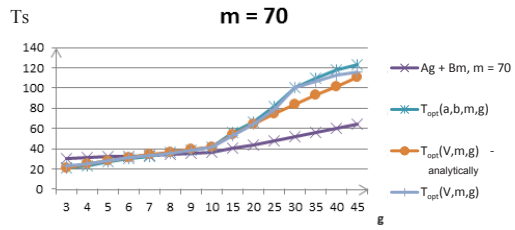
$$l_p^{max} = l_1 + l_p \cdot m, m. \quad (19)$$

Average length of semi-trip of pulling:

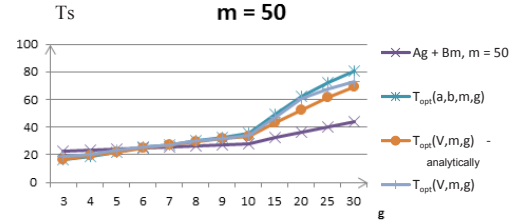
$$l_p^{av} = l_1 + l_p \cdot \frac{m}{2} + l_p \cdot \frac{m}{2 \cdot x}, m, \quad (20)$$

$$m_p^{av} = \frac{m}{x} \text{ (part of the composition)}, \quad (21)$$

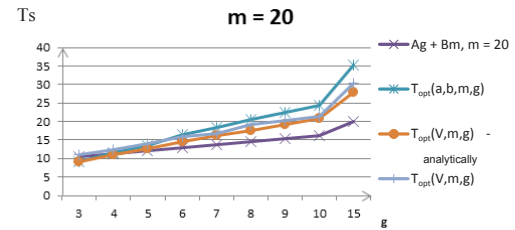
$$\begin{aligned} \sum t_p &= (\alpha + \beta \cdot (l_1 + l_p \cdot \frac{m}{2} + l_p \cdot \frac{m}{2 \cdot x}) + \gamma \cdot \frac{m}{x}) \cdot x = \\ &= (\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \cdot \frac{m}{2} + \beta l_p \cdot \frac{m}{2 \cdot x} + \gamma \cdot \frac{m}{x}) \cdot x. \end{aligned} \quad (22)$$



Pic. 2. Duration of maneuvers on the turnout track, $m = 70$ cars.



Pic. 3. Duration of maneuvers on the turnout track, $m = 50$ cars.



Pic. 4. Duration of maneuvers on the turnout track, $m = 20$ cars.

3. For $\sum t_s$ (semi-trips of pushing back):

Pushing back of the last cut of the part of the composition:

$$l_s^{min} = l_g + l_p \cdot \frac{m}{g}, m, \quad (23)$$

where l_g – distance from switch points of the turnout track, leading to the turnout track, to the extreme (far) distance post of the sorting tracks (in Pic. 1 coincides with l_1).

Pushing back of the entire part of the composition for setting its first cut:

$$l_s^{max} = l_g + l_p \cdot \frac{m}{x}, m, \quad (24)$$

$$l_s^{av} = l_g + l_p \cdot \frac{m}{2x} + l_p \cdot \frac{m}{2g}, m, \quad (25)$$

$$m_{min} = \frac{m}{g}, m_{max} = \frac{m}{x}, m_p^{av} = \frac{m \cdot (g+x)}{2gx}, \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \sum t_s &= \left(\alpha + \beta \cdot \left(l_g + l_p \cdot \frac{m}{2x} + l_p \cdot \frac{m}{2g} \right) + \gamma \cdot \frac{m \cdot (g+x)}{2gx} \right) \cdot g = \\ &= (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{2x} + (\alpha + \beta l_g)g + (\beta l_p + \gamma) \frac{m}{2}. \end{aligned} \quad (27)$$

4. For $\sum t_{rp}$ (semi-trips of reverse pushing):

Return of the locomotive after backing of the last cut:

$$l_{rp}^{min} = l_g, m, \quad (28)$$

$$l_{rp}^{max} = l_g + l_p \cdot \left(\frac{m}{x} - \frac{m}{g} \right), m, \quad (29)$$

$$l_{rp}^{av} = l_g + l_p \cdot \frac{m}{2x} - l_p \cdot \frac{m}{2g}, m, \quad (30)$$





Table 1

Coefficient A₁

l _g , m	V, km/h		
	15	25	40
100	0,99	0,80	0,81
150	1,39	1,04	0,96
200	1,79	1,28	1,11
250	2,19	1,52	1,26
300	2,59	1,76	1,41
350	2,99	2,00	1,56
400	3,39	2,24	1,71
450	3,79	2,48	1,86
500	4,19	2,72	2,01

Table 2

Coefficient B₁ at V = 15 km/h

g, cuts	m, cars						
	10	20	30	40	50	60	70
1	0,23	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16
5	0,49	0,40	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33
10	0,68	0,57	0,52	0,50	0,48	0,47	0,47
15		0,69	0,63	0,61	0,59	0,58	0,57
20			0,73	0,70	0,68	0,66	0,65
25				0,78	0,75	0,74	0,73
30					0,82	0,81	0,79
35						0,87	0,86
40						0,93	0,91
45							0,97

Table 3

Coefficient B₁ at V = 25 km/h

g, cuts	m, cars						
	10	20	30	40	50	60	70
1	0,19	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13
5	0,40	0,32	0,30	0,28	0,27	0,26	0,26
10	0,55	0,45	0,41	0,39	0,37	0,36	0,36
15		0,54	0,49	0,47	0,45	0,44	0,43
20			0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
25				0,60	0,57	0,56	0,55
30					0,63	0,61	0,60
35						0,66	0,64
40						0,70	0,69
45							0,73

Table 4

Coefficient B₁ at V = 40 km/h

g, cuts	m, cars						
	10	20	30	40	50	60	70
1	0,20	0,17	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13
5	0,40	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25	0,25
10	0,55	0,44	0,39	0,37	0,35	0,34	0,33
15		0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40
20			0,54	0,50	0,48	0,46	0,45
25				0,56	0,53	0,51	0,50
30					0,58	0,56	0,54
35						0,60	0,58
40						0,64	0,62
45							0,66

$$m_{min} = 0, m_{max} = \frac{m}{x} - \frac{m}{g}, m_p^{av} = \frac{m}{2x} - \frac{m}{2g}, \quad (31)$$

$$\sum t_p = (\alpha + \beta \cdot (l_g + l_p \cdot \frac{m}{2x} - l_p \cdot \frac{m}{2g}) + \gamma \cdot (\frac{m}{2x} - \frac{m}{2g})) \cdot g =$$

$$= (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{2x} + (\alpha + \beta l_g)g - (\beta l_p + \gamma) \frac{m}{2}. \quad (32)$$

The total duration of the sorting of the composition by backing when it is divided into x parts:

$$T = \sum t_x + \sum t_p + \sum t_s + \sum t_{sp} =$$

$$= (\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})x - \beta l_p \frac{m}{2} + (\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})x +$$

$$+ \beta l_p \frac{m}{2} + \gamma m + (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{2x} + (\alpha + \beta l_g)g + (\beta l + \gamma) \frac{m}{2} +$$

$$+ (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{2x} + (\alpha + \beta l_g)g - (\beta l_p + \gamma) \frac{m}{2} =$$

$$= 2(\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})x + \gamma m + (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{x} + 2(\alpha + \beta l_g)g \quad (33)$$

or

$$T = 2(\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})x + \gamma m + (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{x} + 2(\alpha + \beta l_g)g, \text{ sec.} \quad (34)$$

The first derivative on x:

$$\frac{dT}{dx} = 2(\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2}) - (\beta l_p + \gamma) \frac{mg}{x^2}; \quad (35)$$

The second derivative is a positive value, so the minimum of the function T is reached at the point:

$$x = \sqrt{\frac{(l_p + m)mg}{2(\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})}}. \quad (36)$$

The formula (36) determines the optimal number of parts of the composition by the criterion of the minimum duration of its sorting by backing on the turnout track.

Substituting (36) in (34), we obtain the minimum duration of maneuvers:

$$T = 2\sqrt{2(\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})(\beta l_p + \gamma)mg} +$$

$$+ 2(\alpha + \beta l_g)g + \gamma m, \text{ sec.} \quad (37)$$

Formula (37) can be represented as follows:

$$T = A'g + B'm + C'\sqrt{mg}, \quad (38)$$

where $A' = 2(\alpha + \beta l_g) = \alpha_n \cdot V + \frac{7,2}{V} l_g, \quad (39)$

$$B' = \frac{\beta_n \cdot V}{2}, \quad (40)$$

$$C' = 2\sqrt{2(\alpha + \beta l_1 + \beta l_p \frac{m}{2})(\beta l_p + \gamma)} =$$

$$= 2\sqrt{2((\alpha_n \cdot \frac{V}{2}) + (\frac{3,6}{V})l_1 + (\frac{3,6}{V})l_p \frac{m}{2})((\frac{3,6}{V})l_p + \frac{\beta_n \cdot V}{2})}. \quad (41)$$

As seen from the formulas (39)–(41), the values A', B' do not depend on g and m, and the value C' depends on m.

Formula (38) can be represented in a more conventional form:

$$T_{sort} = A'g + B'm, \quad (42)$$

where $A' = A',$

$$B' = B' + C' \sqrt{\frac{g}{m}} = \gamma + C' \sqrt{\frac{g}{m}} = \frac{\beta_n \cdot V}{2} + C' \sqrt{\frac{g}{m}}.$$

Taking into account expressions (39) – (41), the coefficients obtained are:

$$A' = \alpha_n \cdot V + \frac{7,2}{V} l_g, \text{ min/cut.} \quad (43)$$

$$B_1 = \frac{\beta_{rt} \cdot V}{2} + 2 \sqrt{\left(\left(\alpha_{rt} \cdot \frac{V}{2} \right) + \left(\frac{3,6}{V} \right) l_p + \left(\frac{3,6}{V} \right) l_p \frac{m}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{3,6}{V} \right) l_p + \frac{\beta_{rt} \cdot V}{2} \right)}$$

$$\sqrt{\frac{g}{m}}, \text{ min/car.} \quad (44)$$

Thus:

$$A_1 = f(\alpha_{rt}, V, l_p);$$

$$B_1 = f(\alpha_{rt}, \beta_{rt}, V, m, g);$$

$$T = f(\alpha_{rt}, \beta_{rt}, V, l_p, m, g).$$

α_{rt}, β_{rt} – normative coefficients given in [1], essentially reflect the technical characteristics of the shunting locomotive. The dependence on them is shown above.

At fixed α_{rt}, β_{rt} and l_p , $T = f(V, m, g)$,

i.e. optimum duration of maneuvers on the turnout track by the backing method is analytically deduced using formula (1) depending on m and g .

The results of calculations using formula (38) for $V = 15 \text{ km/h}$ and fixed m are shown in Pic. 2–4 ($l_g = 94.5 \text{ m}$). In the notation for these figures:

$Ag+Bm$ – duration of maneuvers, calculated on the basis of statistical coefficients in accordance with [1];

$T_{opt}(a, b, m, g)$ – optimal (at optimal value x) the duration of maneuvers, calculated as the sum of semi-trips, based on the formula $t_{s/t} = a + bm$;

$T_{opt}(V, m, g)$ – optimal duration of maneuvers, calculated as the sum of semi-trips, based on the formula (1),

$T_{opt}(V, m, g)$ – optimal duration of maneuvers, obtained analytically by the formula (38).

Table 1 shows the values of the coefficient A_1 depending on the speed at maneuvers (V) and the length of the neck of the sorting park (l_p). Tables 2–4 show the values of the coefficient B_1 , depending on the speed at maneuvers (V), the number of cars (m) and cuts (g) in the composition. Tables 1–4 were compiled at standard values of α_{rt}, β_{rt} .

Conclusion.

Analysis of the results shows the following:

For $m > 50$ and $g < 10$ all four approaches give almost identical results, for $m = 20$ the results are the same for $g < 5$;

With the number of cuts greater than the indicated values, are the most significantly different from the others, the results obtained according to the traditional formula $T_{sort} = A \cdot g + B \cdot m$, these results are significantly lower than those obtained by semi-trips calculations;

With a long sorted composition ($m = 50, m = 70$) and a significant number of cuts ($g > 10$), the analytically derived formula gives a longer sorting time than a formula derived from statistical data (taking into account the calculation of duration of semi-trips on the optimized formula, described in [4]), and with increasing g this discrepancy grows;

For a small length of the composition ($m = 20$), the analytically derived formula gives results that practically coincide with the optimized formula (1), and is smaller than in calculating the duration of a semi-trip by the formula $t_{s/t} = a + bm$. All discrepancies increase with increase of the number of cuts.

Thus, the analytically obtained formula $T_{sort} = A_1 \cdot g + B_1 \cdot m$ gives results close to those obtained in calculating the duration of sorting by semi-trips in a wide range of values of m and g , and at the same time allows to quickly obtain the desired result (without calculating the duration of each semi-trip).

The result can be used to quickly check the calculated values of the duration of the shunting operation, which, along with calculating the semi-trip duration [4], is realized in the simulation modeling of station operation in the AnyLogic environment [5–11].

REFERENCES

1. Time norms for shunting operations performed at railway stations of JSC Russian Railways, standards for the number of shunting locomotive crews (2007) [*Normy vremeni na manevrovyye raboty, vypolnjaemye na zheleznodorozhnykh stantsiyah OAO «RZhD», normativy chislennosti brigad manevrovyykh lokomotivov (2007 g.)*].
2. Order of the Ministry of Railways of the Russian Federation dated September 29, 2003, No. 67 «On approval of the procedure for developing and determining the technological terms of turnover of cars and technological norms for loading cargo into cars and unloading cargo from cars» [*Prikaz MPS RF ot 29 sentyabrya 2003 g. № 67 «Ob utverzhdenii porjadka razrabotki i opredeleniya tehnologicheskikh srokov oborota vagonov i tehnologicheskikh norm pogruzki gruzov v vagony i vygruzki gruzov iz vagonov»*].
3. Kochnev, F. P., Sotnikov, I. B. Management of the operational work of railways: educational guide for universities [*Upravlenie ekspluatatsionnoy rabotoy zheleznynykh dorog: Ucheb. posobie dlja vuzov*]. Moscow, Transport publ., 1990, 424 p.
4. Shmulevich, M. I., Starikov, A. E. Features of Regulation of Shunting Operations in the Station Simulation Model. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, Iss. 5, pp. 198–212.
5. Shmulevich, M. I., Starikov, A. E. Structure of the simulation model of an industrial railway station and its implementation in the AnyLogic system [*Struktura imitatsionnoy modeli promyshlennoy zheleznodorozhnoy stantsii i ee realizatsiya v sisteme AnyLogic*]. *Promyshlennyy transport XXI vek*, 2016, Iss. 3–4, pp. 20–24.
6. The AnyLogic Company. 2015. AnyLogic – Multimethod Simulation Software. [Electronic resource]: <http://www.anylogic.com>. Last accessed 29.10.2015.
7. Petersen, E. R. Railway Modeling: Part I. Prediction of Put-Through Time, *Transportation Science*, 1977, vol. 11, no. 1, February.
8. Baugher, R. Application of Any Logic to Railroad Operation Analysis. *Any Logic Conference*, December, 2013.
9. Lin, E., Cheng, C. Yard Sim. A Rail Yard Simulation Framework and its Implementation in a Major Railroad in the U.S. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference* // Edited by M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin, R. G. Ingalls. Piscataway, New Jersey, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2009, pp. 2532–2541.
10. Clausen, U., Goedicke, I. Simulation of Yard Operations and Management in Transshipment Terminals. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*. 2012.
11. Kiseleva, M. V. Simulation modeling of systems in Anylogic environment. Teaching-methodical manual [*Imitatsionnoe modelirovanie sistem v srede Anylogic. Uchebno-metodicheskoe posobie*]. Ykaterinburg, USTU-UIP, 2009, 88 p.

Information about the authors:

Shmulevich, Mikhail I. – D.Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering Moscow, Russia, mikhail.shmulevich@gmail.com.

Starikov, Aleksey E. – engineer of CJSC PromtransNIIproekt, Moscow, Russia, starikovaleksei1992@mail.ru.

Article received 06.05.2016, accepted 18.06.2016.

