

## ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ С УЧЕТОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

**КОКУРИН Иосиф Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем организации транспортных систем<sup>1</sup>; e-mail: kokyrinim@mail.ru

**ПУШКИН Илья Андреевич**, аспирант<sup>2</sup>; e-mail: usrobots@yandex.ru

<sup>1</sup> Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», Санкт-Петербург

В статье изложен метод повышения достоверности расчетов параметров движения поезда с учетом его длины при движении через место ограничения скорости. Предлагается развитие нормативной технологии тяговых расчетов, которая определяет по законам теоретической механики параметры движения поезда в выбираемом режиме снижения установленной скорости на расстоянии, определяемом методом пошагового приближения к искомой величине от заданного значения, с учетом длины поезда. При расчетах поезд представляется в виде материальной точки с массой, сосредоточенной в середине его длины, а расчет параметров движения выполняется только для центра массы. Расстояние движения по месту снижения скорости увеличивается на длину поезда и учитывается в формулах тяговых расчетов. Длина поезда используется для вычисления массы поезда, которая определяет действующие на него силы и создаваемое ускорение. Скорость и расстояние движения поезда на шаге расчета определяются по задаваемому малому интервалу времени. Разработан алгоритм нахождения места начала снижения скорости при движении через место ограничения скорости, согласующийся с предложенными в правилах тяговых расчетов формулами. Предлагаемая методика, в отличие от правил тяговых расчетов, учитывает эти данные. Доказана необходимость учета данных о длине поезда в расчетах межпоездных и станционных интервалов, используемых при разработке и корректировке нормативных графиков движения.

**Ключевые слова:** тяговые расчеты, параметры движения, ограничения скорости, режимы снижения скорости, расстояние снижения скорости, длина поезда, интервальное регулирование.

DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-52-63

### ▼ Введение

Правила тяговых расчетов<sup>1</sup> не требуют при определении параметров движения (скорости, времени и расстояния) учитывать длину поезда. Данные о длине поезда используются только для определения длин блок-участков [1–4]. В расчетах времени хода поезда по участку рассчитывается ускорение центра масс и на основе ускорения вычисляется итоговая скорость методом суммирования на малых интервалах времени [5]. Но такая методика непригодна в условиях расчета параметров движения по месту ограничения скорости поезда. Поезду требуется проследовать такое место не только центром массы (ЦМ), но и всей длиной, которая может быть намного больше места ограничения скорости. Не учитывание в расчетах длины поезда влечет недопустимое

отклонение результатов исследуемого процесса. В настоящее время задача моделирования движения поезда ставит своей целью не только расстановку светофоров, но и планирование движения [6–9]. Все это приводит к необходимости рассчитывать параметры движения с учетом всех особенностей технологической работы железной дороги, в том числе ограничений скорости, которые носят временный характер.

Проблема при расчете движения поезда по месту ограничения скорости заключается в необходимости оценки ординаты начала снижения скорости. Все формулы, которые предлагают правила тяговых расчетов<sup>1</sup>, учитывают движение времени только вперед и потому не позволяют вычислить ординату поезда до того как он проследует ее [10].

Актуальность исследования вытекает ввиду возросшего объема информации о поездной ситуации у поездных диспетчеров [11–13]

<sup>1</sup> Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р.

и несовершенства отечественных систем моделирования [5, 14]. В настоящее время оценка железнодорожных участков, технических станций, узлов и направлений выполняется без определения потребности в «окнах» оптимальной продолжительности на длительный период планирования объемов грузовых перевозок, что не позволяет оценивать возможности их выполнения [15].

Основной целью статьи является решение задачи нахождения ординаты начала снижения скорости при приближении к месту ограничения разрешенной скорости движения. Для этого определяются основные уравнения движения поезда, проводится анализ способов снижения скорости и приводится блок-схема алгоритма поиска ординаты начала снижения скорости. Также приводятся примеры тяговых расчетов параметров движения с учетом длин поездов, разности ограничений скорости, режимов и расстояний снижения скорости.

**1. Уравнения движения поезда в условиях дополнительной информации**

Для определения скорости поезда и проходимого расстояния при всех достигаемых поездом величинах ускорения предлагается использовать следующие уравнения теоретической механики.

Конечную скорость на шаге расчета рекомендуется определять по формуле:

$$V_{ki} = V_{Hi} + a_{Pi} \Delta t_{Pi}, \tag{1}$$

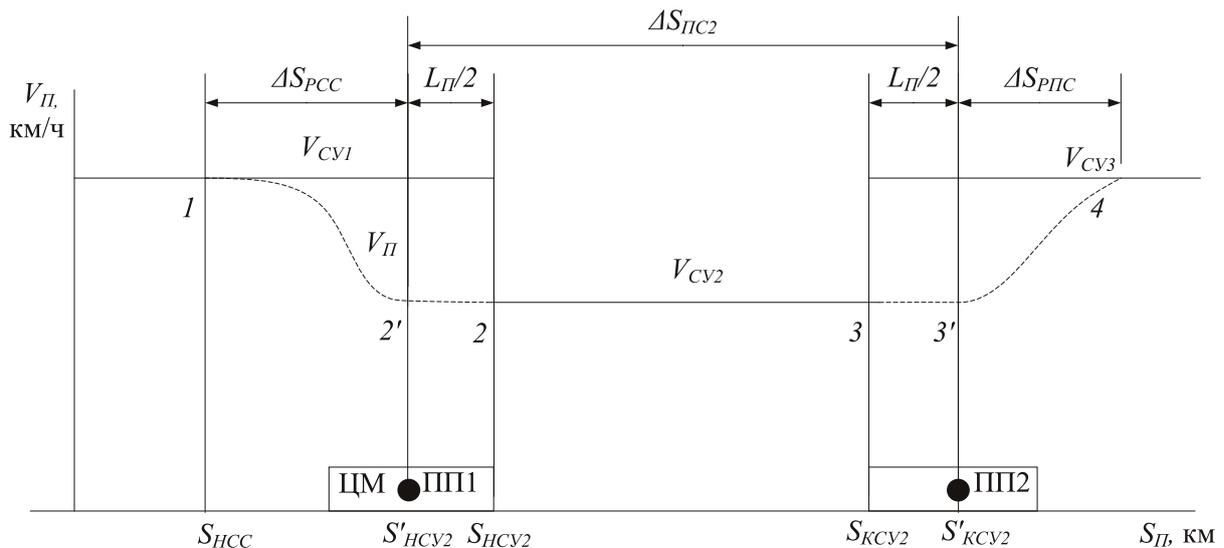
где  $\Delta t_{Pi} = 0,1$  с — рекомендуемый<sup>2</sup> интервал времени на всех шагах расчета. Начальная скорость на первом шаге расчета принимается равной скорости начала расчета.

Пройденное поездом расстояние на шаге расчета следует определять по формуле:

$$\Delta S_{Pi} = V_{Hi} \Delta t_{Pi} + a_{Pi} (\Delta t_{Pi}^2) / 2, \tag{2}$$

Алгебраические операции с размерностями величин, входящих в формулы тяговых расчетов (1)  $м/с + м/с^2 \cdot с = м/с$ , и (2)  $м/с \cdot с + м/с^2 \cdot с^2 = м$ , доказывают правильность размерностей получаемых результатов  $м/с$  для скорости и  $метры$  для расстояния.

Представление поезда в виде материальной точки с массой, сосредоточенной в середине длины, требует при тяговых расчетах учитывать длину поезда  $L_{П}$ . Голова поезда (рис. 1) достигает начала места  $S_{НСУ2}$  установленной скорости  $V_{СУ2}$ , при отставании ординаты центра массы  $S'_{НСУ2}$  от  $S_{НСУ2}$  на половину длины поезда  $L_{П}/2$  (положение поезда ПП1). Хвост поезда освобождает конец места  $S_{КСУ2}$  установленной ско-



**Рис. 1.** Проследование поездом места ограничения скорости

<sup>2</sup> Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р.

рости  $V_{CV2}$ , когда ордината центра массы  $S'_{KCV2}$  опережает  $S'_{KCV2}$  на половину длины поезда  $L_{П}/2$  (положение поезда ПП2). С этого положения становится допустимым повышение скорости с  $V_{CV2}$  до  $V_{CV3}$ , не превышая скорость  $V_{CV2}$ . Расстояние, на котором поезд осуществляет разгон  $\Delta S_{PCC}$ , и расстояние снижения скорости  $\Delta S_{PCC}$  не могут быть равными даже при равенстве скоростей  $V_{CV1}$  и  $V_{CV2}$ , так как на них оказывают влияние разные силы. На ординате 4 центр массы достигает скорости  $V_{CV3}$  и начинается движение поезда с этой установленной скоростью.

Расстояние  $\Delta S_{ПЦ2}$ , проходимое поездом с пониженной скоростью  $V_{CV2}$  (см. рис. 1), равно расстоянию между положениями центра массы поезда ПП1 и ПП2, а также сумме двух половин длины поезда и расстояния продвижения с пониженной скоростью:

$$\Delta S_{ПЦ2} = S'_{KCV2} - S'_{HCV2} = L_{П} / 2 + L_{CV2} + L_{П} / 2. \quad (3)$$

Учитывая возможность различий профиля пути при движении первой и второй половин длины поезда, следует вычислять  $\Delta S_{ПЦ2}$  по формуле (3).

Режим снижения скорости поезда (см. рис. 1) выбирается по минимальному расстоянию при служебном торможении ( $\Delta S_{PCCB}$ ) и выбеге ( $\Delta S_{PCCB}$ ) на одинаковом профиле пути. Начинать сравнительные расчеты расстояний необходимо с ординаты начала места движения с пониженной скоростью  $S'_{HCV2}$  по направлению движения поезда. Это обеспе-

чивает сравнение расстояний снижения скорости на одинаковом профиле пути. Меньшее расстояние используется в начале расчета как задаваемая величина расстояния снижения скорости  $\Delta S_{PCC}$ .

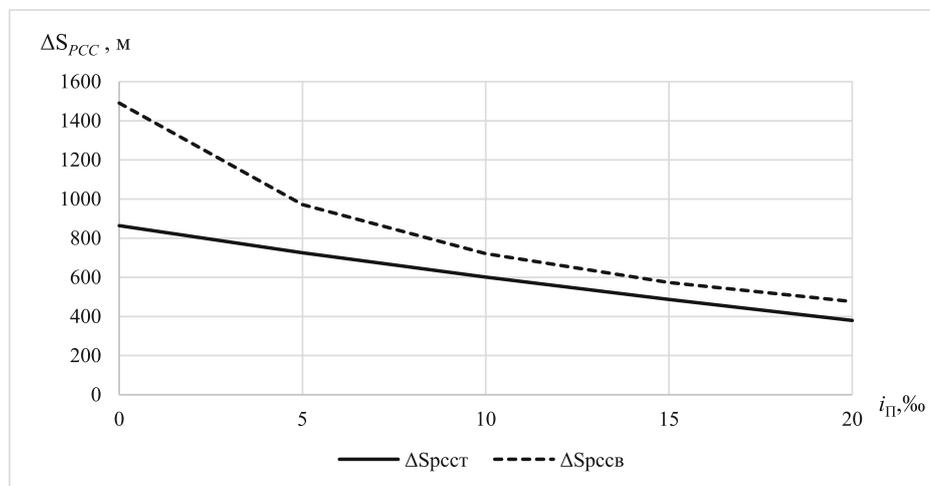
Результаты тяговых расчетов (рис. 2–5) расстояний снижения скорости используются в зависимости от сочетаний исходных данных.

Меньшие расстояния снижения скорости (рис. 2 и 3) грузовому и пассажирскому поездам требуются в режиме служебного торможения при всех рассмотренных уклонах пути. Но различия между расстояниями сокращаются с ростом уклона. Отдельно разность расстояний ( $\Delta S_{B-CT}$ ) изображена на рис. 4 и 5.

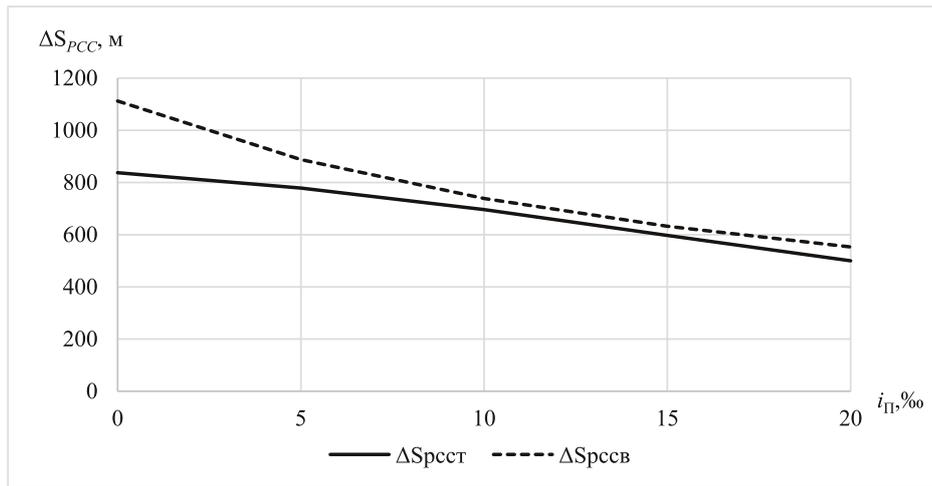
При увеличении подъема пути более десяти тысячных (рис. 4 и 5) разность расстояний снижения скорости грузового поезда в режиме выбега превышает это расстояние в режиме служебного торможения не более, чем на 100 метров. Для пассажирского поезда аналогичное превышение составляет менее 50 метров. Снижение скорости в режиме выбега не требует затрат энергии, практически применяется в указанном диапазоне подъема пути.

Расстояние снижения скорости  $\Delta S_{PCC}$ , равное (см. рис. 1) разности ординат центра массы поезда при начале движения с пониженной скоростью  $S'_{HCV2}$  и начала снижения скорости  $S_{HCC}$ , можно определить двумя способами:

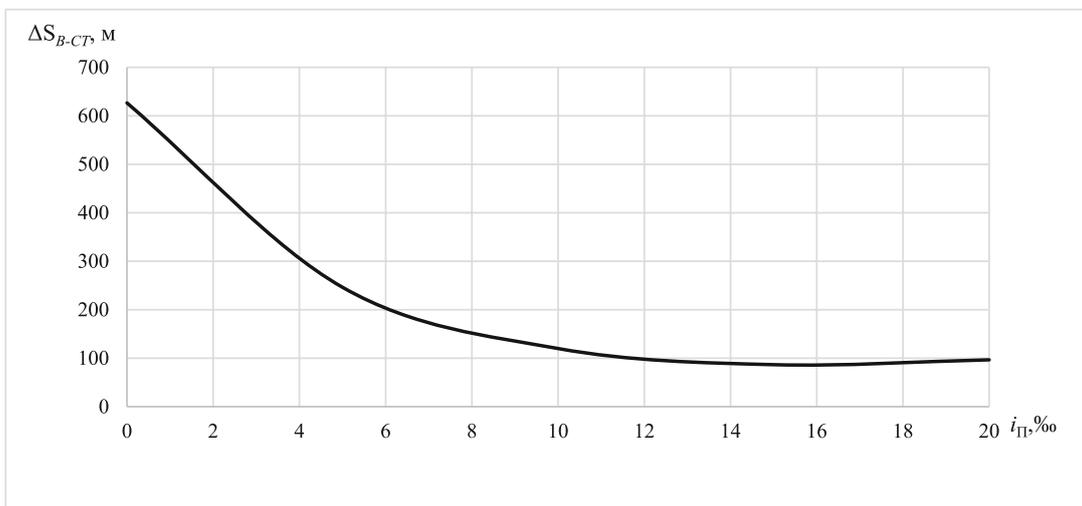
$$\begin{cases} \Delta S_{PCC} = S'_{HCV2} - S_{HCC} \\ \Delta S_{PCC} = S_{HCV2} - L_{П} / 2 - S_{HCC} \end{cases} \quad (4)$$



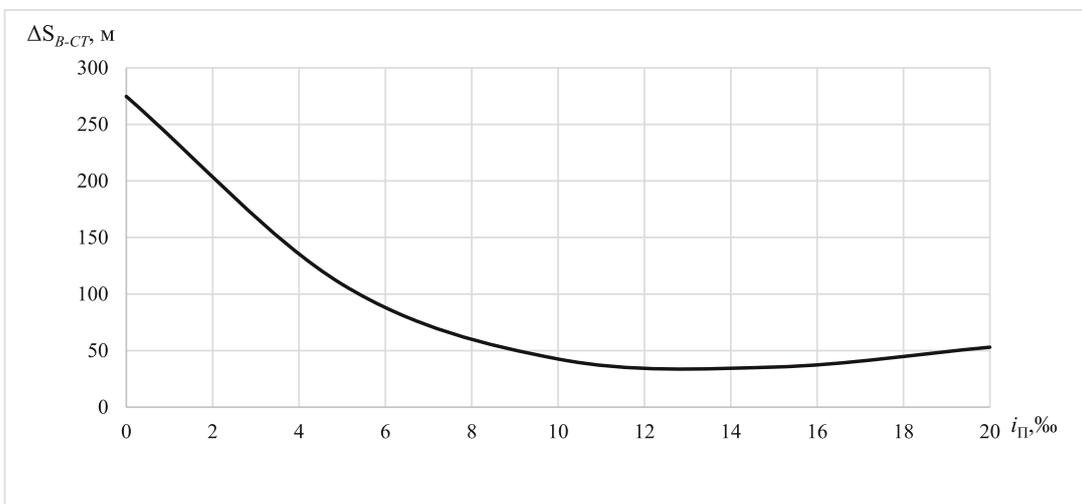
**Рис. 2.** Зависимости расстояния снижения скорости расчетного грузового поезда с 80 до 60 км/ч от уклона пути и режима снижения скорости



**Рис. 3.** Зависимости расстояния снижения скорости расчетного пассажирского поезда со 120 до 100 км/ч от уклона пути и режима снижения скорости



**Рис. 4.** Разность расстояний снижения скорости в режимах выбега и служебного торможения для грузового поезда при снижении скорости с 80 до 60 км/ч



**Рис. 5.** Разность расстояний снижения скорости в режимах выбега и служебного торможения для пассажирского поезда при снижении скорости со 120 до 100 км/ч

Определение ординаты  $S_{HCC}$  затрудняется тем, что расстояние  $\Delta S_{PCC}$  рассчитывается по направлению движения поезда, а ордината  $S_{HCC}$  определяется в обратном направлении. Поэтому перед каждым местом снижения установленной скорости ординату  $S_{HCC}$  приходится определять пошаговым приближением от промежуточной величины  $S'_{HCV2}$  к искомой  $S_{HCC}$ . Эту задачу решает алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 6.

Блок 1 алгоритма рассчитывает ординату  $S'_{HCV2} = S_{HCV2} - L_{\Pi}/2$  и приравняет ординаты начала снижения скорости в режимах служеб-

ного торможения  $S_{HCCT}$  и выбега  $S_{HCCB}$  к ординате  $S'_{HCV2}$ :  $S_{HCCT} = S_{HCCB} = S'_{HCV2}$ .

Блок 2 выполняет тяговые расчеты расстояний снижения скорости от  $V_{CV1}$  до  $V_{CV2}$ , начиная с ординаты  $S'_{HCV2}$  в режимах выбега  $\Delta S_{PCCB}(S_{HCCB})$  и служебного торможения  $\Delta S_{PCCT}(S_{HCCT})$ .

Блок 3 сравнивает расстояния снижения скорости, рассчитанные в блоке 2, для данного поезда, длиной  $L_{\Pi}$ , на одинаковом профиле пути. Если расстояние  $\Delta S_{PCCT}$  окажется меньше расстояния  $\Delta S_{PCCB}$ , то блок 3 по информации ДА направит процесс приближения промежу-

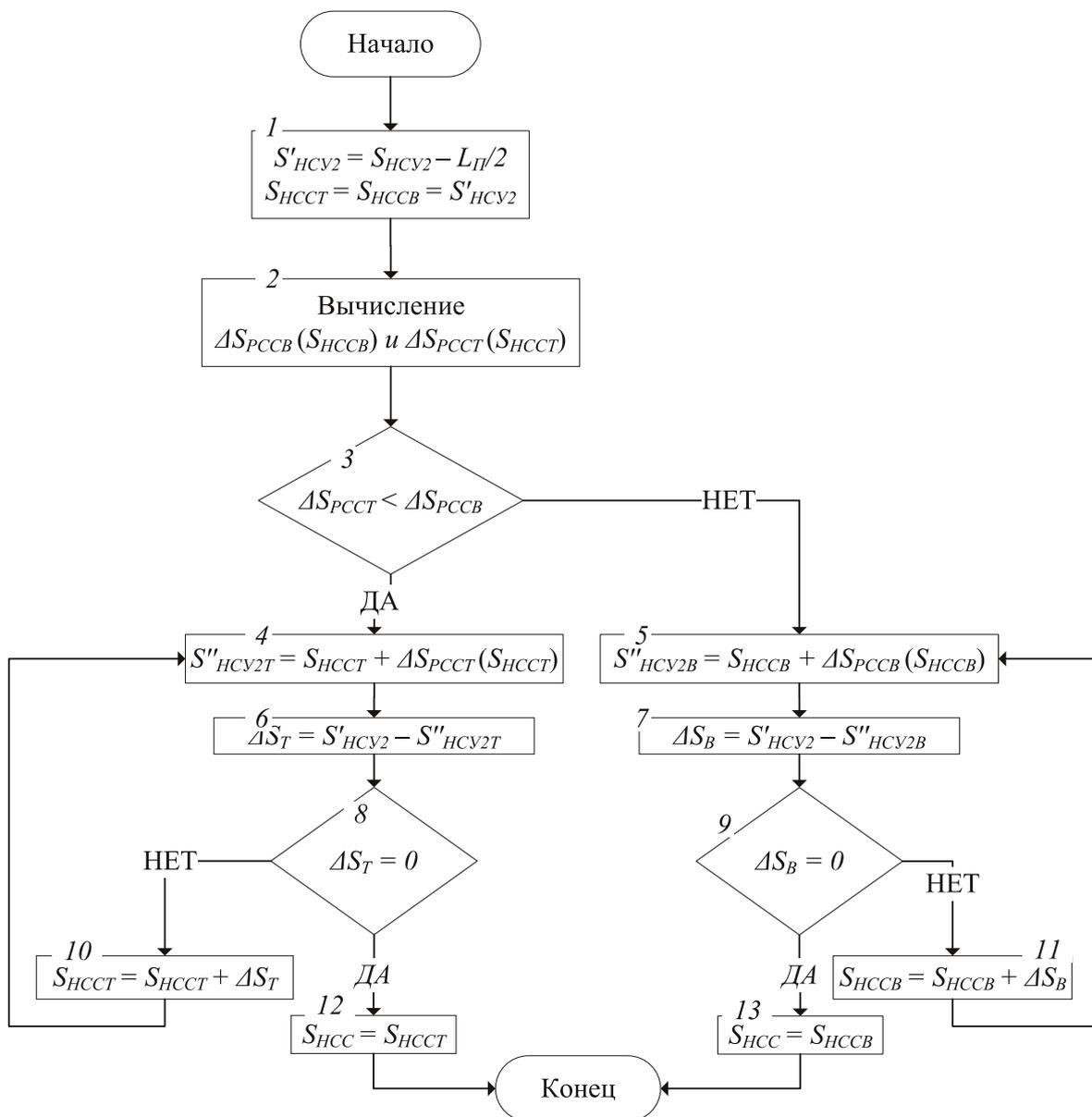


Рис. 6. Блок-схема алгоритма определения ординат начала и конца места снижения скорости

точного начала снижения скорости  $S_{HCCB}$  в комплекс блоков, обслуживающий режим служебного торможения, блоки 4, 6, 8 и 10, в ином случае — в комплекс блоков режима выбега, блоки 5, 7, 9 и 11.

Блок 4 в начале каждой итерации определяет ординату конца снижения скорости при приведении тормозной системы в действие на ординате начала снижения скорости, в данном случае — это  $S_{HCCr}$ . Блок, начиная с ординаты  $S_{HCCr}$ , рассчитывает расстояния снижения скорости  $\Delta S_{PCCT}$  и суммируя с  $S_{HCCr}$  получает  $S''_{HCU2T}$ .

Блок 6 рассчитывает разность  $\Delta S_T$  в режиме служебного торможения  $\Delta S_T = S'_{HCU2} - S''_{HCU2T}$ .

Если ордината  $S''_{HCU2T}$  менее  $S'_{HCU2}$ , то расстояние  $\Delta S_{PCCT}$  закончится до ординаты  $S'_{HCU2}$ , и ордината  $S_{HCCr}$  увеличится в блоке 10 на величину  $\Delta S_T$ .

Если ордината  $S''_{HCU2T}$  превысит  $S'_{HCU2}$ , то расстояние  $\Delta S_{PCCT}$  закончится за ординатой  $S'_{HCU2}$  и ордината  $S_{HCCr}$  уменьшится в блоке 10 на величину  $\Delta S_T$ .

Блок 8 проверяет условия окончания работы алгоритма. Пошаговое изменение  $S_{HCCr}$  создает условие, при котором ордината  $S'_{HCU2}$  становится равной ординате  $S''_{HCU2}$ , а  $\Delta S_T = 0$ . Это заканчивает работу алгоритма.

Блоки 5, 7, 9 и 11 работают аналогично в режиме выбега. В результате, при любом способе снижения скорости, находится  $S_{HCC}$ , а блоки 12 и 13 приравнивают получившуюся величину к искомой.

На основе получаемых данных алгоритм строит графики зависимости скорости поезда  $V_{II}$  и времени движения  $t_{II}$  от величины ординаты центра массы  $S_{II}$ .

## 2. Практика тяговых расчетов

Примеры тяговых расчетов выполняются на профиле пути двухпутного перегона, ограниченного обгонными пунктами Оп А и Оп Б (рис. 7). Величина перегонного времени хода поездов рассчитывается в соответствии с требованием<sup>3</sup>. При остановке поезда на раздельном пункте по расписанию значения времени на разгон при трогании с места и на замедление при торможении до остановки прибавляются к перегонному времени хода. При изменениях установленной скорости расчеты выполняются с учетом разности скоростей и длин поездов. Длина расчетного грузового поезда не превышает полезную длину путей приема 1050 метров, с учетом допуска 10 метров на установку поезда<sup>4</sup>, пропускаемого в обоих направлениях.

Для примеров тяговых расчетов используется грузовой поезд с массой состава  $Q = (64 + 22) \cdot 72 = 4608$  т, длиной  $l_C = 13,9 \cdot 72 = 1000,8$  м. Масса тепловоза 2ТЭ116 составляет  $P = 276$  т и длина  $L_{II} = 36,3$  м. Длина поезда равна  $L_{II} = 1000,8 + 36,3 + 10 = 1047,1 < l_{II} = 1050$  м, а масса поезда  $P + Q = 276 + 4608 = 4884$  т. Длина перегона между осями обгонных пунктов составляет 13 250 м.

Примеры тяговых расчетов начинаются с перегонных времен хода грузового поезда, пропускаемого без остановок по главным путям соседних обгонных пунктов (табл. 1).

Скорость грузового поезда необходимо снизить (см. рис. 2) с 80 км/ч до 25 км/ч не позднее вступления головы поезда на начало места снижения скорости  $L_{cy}$ . Поэтому поезду требуется проследовать с пониженной скоростью

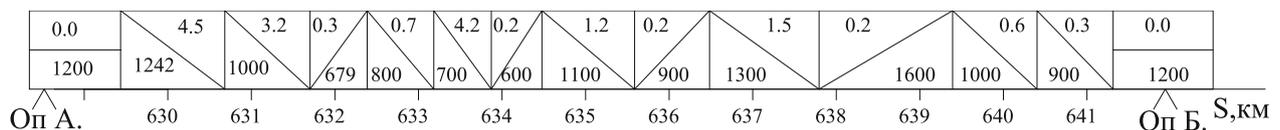


Рис. 7. Профиль пути перегона и обгонных пунктов

<sup>3</sup> Инструкция по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД». Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 27.12.2006 № 2568р.

<sup>4</sup> Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р.

**Таблица 1. Перегонное время хода грузового поезда в зависимости от установленной скорости**

Установленная скорость, км/ч	Перегонное время хода, мин
25	31,78
40	19,86
50	15,90
60	13,25
70	11,35
80	09,93

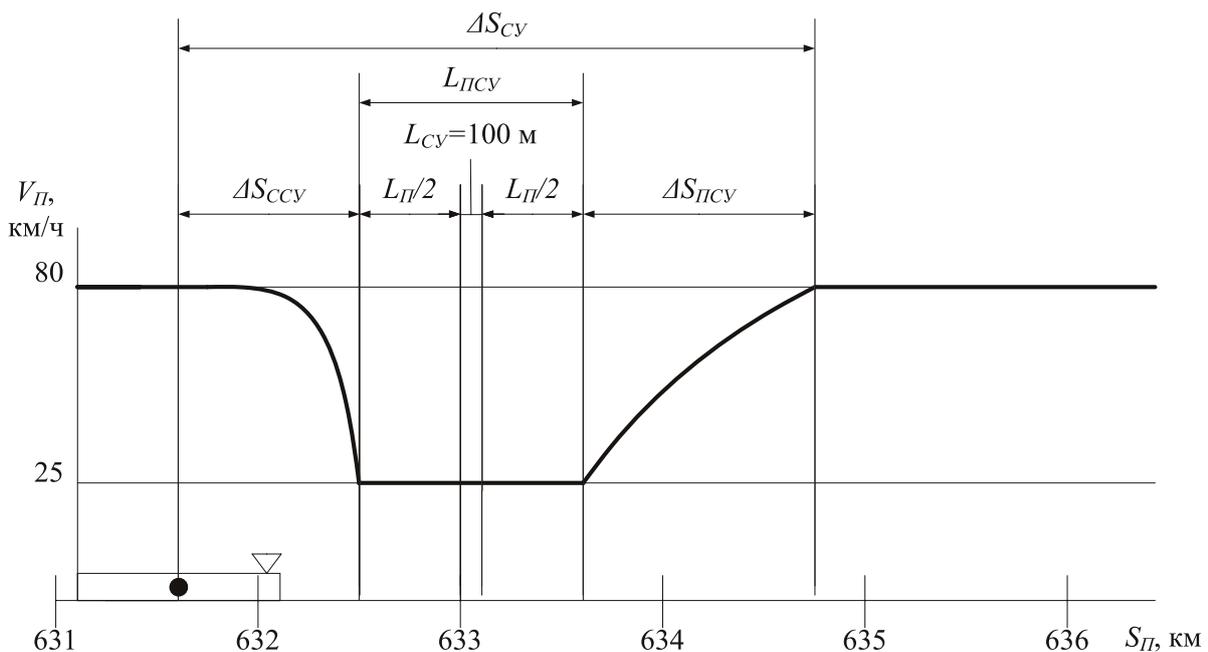
25 км/ч дополнительное расстояние, равное  $L_{п}/2$ . Для освобождения хвостом поезда места снижения скорости  $L_{св}$  центру массы необходимо дополнительно проследовать  $L_{п}/2$ . Следовательно, заданное расстояние движения с пониженной скоростью  $L_{св}$  необходимо увеличить на длину поезда. В итоге, расстояние движения с пониженной скоростью составит:  $L_{псв} = L_{п}/2 + L_{св} + L_{п}/2$ .

После этого, не превышая пониженную скорость 25 км/ч, становится допустимым повышение скорости до 80 км/ч. Расстояния, необходимые для снижения  $\Delta S_{св}$  и повышения скорости  $\Delta S_{псв}$ , определяются программой тяговых расчетов.

При нулевом уклоне пути (табл. 2) меньшее расстояние снижения скорости требуется в режиме служебного торможения во всем диапазоне сравниваемых скоростей и при отрицательном уклоне пути. При снижении скорости от 80, 70 и 60 км/ч до 20 км/ч и менее расстояния в режиме выбега намного превышают расстояния служебного торможения, которые в табл. 2 не включены. При увеличении уклона до 20 тысячных разница между расстояниями снижения скорости становится меньше (табл. 3), а в некоторых случаях практически нулевая, что доказывает возможность использования выбега в качестве способа снижения скорости.

Расчеты показывают, что перегонное время хода без учета (числитель) и с учетом (знаменатель) длины поезда различаются значительно (см. табл. 5). Отношение времен хода записано в ячейки в виде результата деления.

Длину поезда необходимо учитывать при тяговых расчетах. Это связано с наличием целого ряда мест, требующих изменения скорости движения, даже при рассмотрении случая движения между двумя остановочными пунктами (см. рис. 9). Результаты тяговых расчетов демонстрируют повышение скорости остановленного грузового поезда до 80 км/ч, проследо-



**Рис. 8.** Проследование грузовым поездом места ограничения скорости длиной 100 м на перегоне

**Таблица 2. Расстояния снижения скорости расчетному грузовому поезду при нулевом уклоне пути, разных начальных и конечных скоростях, в режимах служебного торможения (числитель) и выбега (знаменатель), м**

Начальная скорость поезда, км/ч	Конечная скорость поезда, км/ч							
	70	60	50	40	25	20	10	0
80	658/ 742	864/ 1491	1037/ 2229	1175/ 2936	1315	1344	1379	1385
70		575/ 748	748/ 1486	886/ 2193	1026/ 3116	1055	1091	1100
60			490/ 739	628/ 1445	767/ 2367	797/ 2615	832	842
50				402/ 706	542/ 1629	571/ 1876	606/ 2238	616/ 2371
40					351/ 923	380/ 1170	415/ 1532	425/ 1665
25						161/ 247	197/ 609	206/ 742
20							141/ 361	151/ 495
10								63/ 133

**Таблица 3. Расстояния снижения скорости расчетному грузовому поезду при уклоне пути в 20 тысячных, разных величинах начальной и конечной скоростей, в режимах служебного торможения (числитель) и выбега (знаменатель), м**

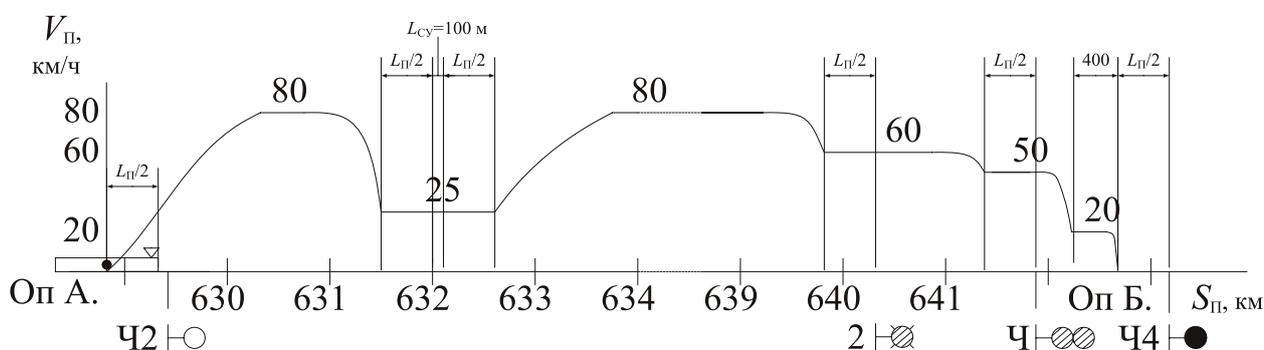
Начальная скорость поезда, км/ч	Конечная скорость поезда, км/ч							
	70	60	50	40	25	20	10	0
80	249/ 253	380/ 476	486/ 677	571/ 848	660/ 1041	680/ 1087	704/ 1149	711/ 1170
70		227/ 234	340/ 427	426/ 598	515/ 791	534/ 837	558/ 900	565/ 921
60			201/ 211	297/ 372	386/ 565	405/ 611	429/ 673	436/ 694
50				171/ 185	274/ 364	293/ 410	317/ 472	324/ 493
40					179/ 193	198/ 239	222/ 301	229/ 322
25						46/ 88	108/ 112	119/ 129
20							62/ 83	83/ 90
10								21/ 41

**Таблица 4. Затраты времени и расстояние, проходимое поездом, в условиях, представленных на рис. 8**

Технологическая операция	Затраты времени движения, мин	Расстояние движения, м
Снижение скорости с 80 до 25 км/ч с использованием служебного торможения, $\Delta S_{\text{св}}$	1,45	1315
Движение по месту ограничения скорости, — $L_{\text{псу}}$	2,78	1159
Разгон от 25 до 80 км/ч — $\Delta S_{\text{псу}}$	0,93	2230
Снижение скорости с 20 км/ч до остановки	0,32	131

**Таблица 5. Перегонное время хода грузового поезда в зависимости от различия установленных скоростей, длин места ограничения скорости, без учета (числитель) и с учетом (знаменатель) длины поезда**

Скорости на месте ограничения, км/ч	Длина места ограничения скорости, м		
	100	200	500
80 – 25 – 80	11,48/ 12,97=0,89	11,63/ 13,15=0,88	12,20/ 13,73=0,89
80 – 40 – 80	10,73/ 11,43=0,94	10,80/ 11,53=0,94	11,08/ 11,78=0,94
80 – 50 – 80	10,40/ 10,83=0,96	10,45/ 10,88=0,96	10,62/ 11,05=0,96
80 – 60 – 80	10,17/ 10,42=0,98	10,18/ 10,43=0,98	10,28/ 10,53=0,98
80 – 70 – 80	10,00/ 10,12=0,99	10,02/ 10,13=0,99	10,05/ 10,17=0,99



**Рис. 9.** Проследование грузовым поездом места ограничения скорости длиной 100 м на перегоне и остановка на боковом пути Оп Б

вание места ограничения скорости до 25 км/ч, снижение скорости с 80 до 60 км/ч при вступлении на блок-участок за предупредительным светофором 2, снижение скорости с 60 до 50 км/ч при вступлении на блок-участок за входным светофором Ч и снижение скорости с 50 до 20 км/ч при движении по блок-участку перед выходным светофором Ч4 с красным огнем. При тяговых расчетах выполняется требование о снижении скорости поезда при следовании к светофору с запрещающим показанием<sup>5</sup>.

Параметры движения пассажирского и грузового поездов, рассчитанные с учетом дополнительных данных, показывают изменение времени хода в зависимости от разных начальных и конечных скоростей, а также параметров перегона (табл. 6).

<sup>5</sup>Распоряжение ОАО «РЖД» от 23 апреля 2019 № 767/р), п. 14, в поездной работе, при следовании к светофору с запрещающим показанием.

Расчеты показывают большое влияние начальных скоростей движения по отклонению и остановок на станциях, даже при движении между двумя соседними станциями. Все это приводит к необходимости увеличения объема учитываемых параметров для повышения точности прогнозирования времен хода. Технология расчетов учитывает затраты времени на проследование перегонов, отдельных пунктов, различая безостановочный пропуск и прием с остановкой на боковой или главный путь.

### Заключение

Предложенный в статье метод тяговых расчетов позволяет существенно (до 12%) повысить достоверность прогноза времени хода поезда, особенно при большой разнице между максимальной скоростью на участке и установленной на участке ограничения.

**Таблица 6. Время хода пассажирского или грузового поезда в зависимости от условий проследования обгонных пунктов и перегона**

№	Условия проследования перегона и обгонных пунктов	Время хода, мин
1	Проследование пассажирским поездом перегона и обгонных пунктов по главным путям со скоростью 120 км/ч	6,60
2	Разгон на обгонном пункте А и проследование пассажирским поездом обгонного пункта Б со скоростью 120 км/ч	7,37
3	Проследование обгонного пункта А по главному пути со скоростью 120 км/ч с остановкой на главном пути обгонного пункта Б. Скорость снижается перед входным светофором с желтым огнем и останавливается перед выходным светофором с красным огнем	8,63
4	Разгон пассажирского поезда на обгонном пункте А до скорости 120 км/ч и остановка на главном пути обгонного пункта Б	9,47
7	Проследование обгонного пункта А по главному пути со скоростью 120 км/ч с остановкой на боковом пути обгонного пункта Б при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/18	8,63
8	Проследование обгонного пункта А по главному пути со скоростью 120 км/ч с остановкой на боковом пути обгонного пункта Б при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/22	8,63
9	Проследование обгонного пункта А по главному пути со скоростью 120 км/ч и проследование обгонного пункта Б по боковому пути при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/18	7,10
10	Проследование обгонного пункта А по главному пути со скоростью 120 км/ч и проследование обгонного пункта Б по боковому пути по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/22	6,60
11	Проследование перегона и обгонных пунктов грузовым поездом по главным путям со скоростью 80 км/ч	9,98
12	Разгон на обгонном пункте А и проследование грузовым поездом обгонного пункта Б со скоростью 80 км/ч	11,55
13	Проследование обгонного пункта А по главному пути грузовым поездом со скоростью 80 км/ч с остановкой на главном пути обгонного пункта Б	10,08
14	Разгон грузового поезда на обгонном пункте А до скорости 80 км/ч и остановка на главном пути обгонного пункта Б	11,70
15	Проследование грузовым поездом обгонного пункта А по главному пути со скоростью 80 км/ч с остановкой на боковом пути обгонного пункта Б при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/9	10,85
16	Проследование грузовым поездом обгонного пункта А по главному пути со скоростью 80 км/ч с остановкой на боковом пути обгонного пункта Б при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/11	10,28
17	Проследование грузовым поездом обгонного пункта А по главному пути со скоростью 80 км/ч и проследование обгонного пункта Б по боковому пути при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/9	10,53
18	Проследование грузовым поездом обгонного пункта А по главному пути со скоростью 80 км/ч и проследование обгонного пункта Б по боковому пути при движении по стрелочному переводу с маркой крестовины 1/11	10,13

По результатам моделирования получены численные значения времени хода поезда с учетом и без учета его длины. Эти значения подтверждают необходимость учета длины поезда при тяговых расчетах. При этом режим снижения установленной скорости следует выбирать по минимуму расстояния снижения скорости, рассчитанному с учетом длины поезда, при служебном торможении или выбеге. Определять расстояния снижения скорости рекомендуется от ординаты начала движения

головы поезда с пониженной скоростью, что создает условия для сравнения расстояний на одинаковом профиле пути.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в исследовании процессов, происходящих при движении поездов по станции во время обгона и скрещения, а также процессов, происходящих при одновременном движении нескольких поездов на участках с разными системами интервального регулирования движения поездов. ▲

**Библиографический список**

1. Воронин В. А. Защитный участок: элемент безопасности или пережиток прошлого? // Железнодорожный транспорт. 2019. № 3. С. 25–27. EDN YUTOEH.
2. Кокурин И. М. Технология определения длин фиксированных блок-участков / И. М. Кокурин, И. А. Пушкин // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 10. С. 9–14. DOI 10.34649/AT.2022.10.10.002. EDN FISEIH.
3. Railway Signalling & Interlocking: international Compendium / S. V. Vlasenko. 2-nd Edition. Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018. 456 p. ISBN 978–3–96245–156–1. EDN QGVDEZ.
4. Kokurin J. M. Technological Foundations of Traffic Controller Data Support Automation / J. M. Kokurin, D. V. Efanov // 2019 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2019, Batumi, 13–16 сентября 2019 года. Batumi, 2019. P. 8884410. DOI 10.1109/EWDTs.2019.8884410. EDN OHONVP.
5. Александров А. Э. Использование имитационной системы ИСТРА для моделирования графика движения поездов / А. Э. Александров, А. В. Шипулин // Транспорт Урала. 2011. № 4 (31). С. 67–71. EDN OOMTWD.
6. Кокурин И. М. Технологические основы инновационной системы автоматического управления движением поездов / И. М. Кокурин, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 5. С. 19–23. DOI 10.34649/AT.2019.5.5.003. EDN UNAKVM.
7. Современные системы управления движением поездов: Отечественный и зарубежный опыт / Е. Н. Розенберг, Е. Е. Шухина, А. В. Озеров, В. М. Машинов. М. : Общество с ограниченной ответственностью «Издательские решения», 2020. 210 с. ISBN 978–5–0051–0924–8. EDN RWWACV.
8. Hintze P., Pruter F. «But that's not the kilometre in the plan!» — the potential of georeferenced railway infrastructure data // Signal+Draht. 2018. Ausgabe 11. P. 6–15.
9. Pan D. On Intelligent Automatic Train Control of Railway Moving Automatic Block Systems Based on Multi-Agent Systems / D. Pan, Y. Zheng, C. Zhang // Proceedings of the 29<sup>th</sup> Chinese Control Conference, Beijing, China, 29–31 July 2010. P. 4471–4476.
10. Кокурин И. М. Когнитивный метод для решения задач интервального регулирования движения поездов / И. М. Кокурин, И. А. Пушкин // Транспорт России: проблемы и перспективы — 2020: Материалы Юбилейной международной-научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года / © ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, 2020 © Коллектив авторов, 2020. Т. 2. Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2020. С. 18–27. EDN XCFCWK.
11. Цветков В. Я. Информационная управленческая ситуация на транспорте / В. Я. Цветков, А. Л. Охотников // Государственный советник. 2018. № 2(22). С. 27–33. EDN XRZMPJ.
12. Кокурин И. М. Алгоритмизация решений поездного диспетчера по выбору станций обгона поездов на однопутном участке / И. М. Кокурин, А. Б. Васильев // Вестник транспорта Поволжья. 2015. № 1 (49). С. 64–73. EDN TQMDJP.
13. Кокурин И. М. Автоматизация информационной поддержки принятия решений поездным диспетчером при организации движения поездов / И. М. Кокурин, А. Б. Васильев // Автоматика на транспорте. 2015. Т. 1, № 2. С. 156–167. EDN UGYUKT.
14. Александров А. Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология): специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : дис. ... докт. техн. наук. Екатеринбург, 2008. 285 с. EDN QENPZH.
15. Беседин А. И. Определение потерь наличной пропускной способности двухпутных и многопутных железнодорожных участках, оборудованных автоблокировкой, от действия предупреждений по ограничению скоростей движения поездов / А. И. Беседин // Наука и техника транспорта. 2008. № 3. С. 12–15. EDN JUKTWT.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH. 2024. Vol. 10, no. 1. P. 52–63  
DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-52-63

### Traction calculations taking into account additional data

#### Information about authors

**Kokurin J. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Problems of Organization of Transport Systems<sup>1</sup>.

E-mail: kokyrinim@mail.ru

**Pushkin I. A.**, Postgraduate Student<sup>2</sup>. E-mail: usrobots@yandex.ru

<sup>1</sup> N. S. Solomenko Transport Problems Institute Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Department of Automation and Remote Control on Railways

**Abstract.** The article outlines a method for increasing the accuracy of calculations of train motion parameters, taking into account its length when moving through a speed limit section. It is proposed to develop a normative technology for traction calculations, which determines, according to the laws of theoretical mechanics, the parameters of train movement in a selectable mode of reducing the set speed at a distance determined by the method of step-by-step approximation to the desired value from a given value, taking into account the length of the train. During calculations, the train is represented as a material point with mass concentrated in the middle of its length, and the calculation of motion parameters is performed only for the center of mass. The travel distance at the point of speed reduction increases by the length of the train and is considered in the traction calculation formulas. The train length is used to calculate the train mass, which determines the forces acting on the train and the acceleration generated. The speed and distance of the train at the calculation step are determined based on a specified small time interval. An algorithm has been developed for finding the place where the speed reduction begins when moving through a speed limit area, consistent with the formulas proposed in the rules for traction calculations. The proposed methodology, in contrast to the rules for traction calculations, takes these data into account. The necessity of taking into account data on the length of the train in the calculations of inter-train and station intervals used in the development and adjustment of standard traffic schedules has been proven.

**Keywords:** traction calculations, movement parameters, speed limits, speed reduction modes, speed reduction distance, train length, interval regulation.

#### References

- Voronin V. A. Zashchitnyj uchashtok: element bezopasnosti ili perezhitok proshlogo? / V. A. Voronin // *Zheleznodorozhnyj transport*. 2019. № 3. S. 25–27. EDN YYTOEH. (In Russian)
- Kokurin I. M. Tekhnologiya opredeleniya dlin fiksirovannykh blok-uchastkov / I. M. Kokurin, I. A. Pushkin // *Avtomatika, svyaz', informatika*. 2022. № 10. S.9–14. DOI 10.34649/AT.2022.10.10.002. EDN FISEIH. (In Russian)
- Railway Signalling & Interlocking: international Compendium / S. V. Vlasenko. 2-nd Edition. Hamburg: PMC Media House GmbH, 2018. 456 p. ISBN 978–3–96245–156–1. EDN QGVDEZ.
- Kokurin J. M. Technological Foundations of Traffic Controller Data Support Automation / J. M. Kokurin, D. V. Efanov // 2019 IEEE East-West Design and Test Symposium, EWDTs 2019, Batumi, 13–16 sentyabrya 2019 goda. Batumi, 2019. P. 8884410. DOI 10.1109/EWDTs.2019.8884410. EDN OHONVP.
- Aleksandrov A. E. Ispol'zovanie imitacionnoj sistemy ISTRa dlya modelirovaniya grafika dvizheniya poezdov / A. E. Aleksandrov, A. V. Shipulin // *Transport Urala*. 2011. № 4 (31). S. 67–71. EDN OOMTWD. (In Russian)
- Kokurin I. M. Tekhnologicheskie osnovy innovacionnoj sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem poezdov / I. M. Kokurin, D. V. Efanov // *Avtomatika, svyaz', informatika*. 2019. № 5. S. 19–23. DOI 10.34649/AT.2019.5.5.003. EDN UNAKVM. (In Russian)
- Sovremennye sistemy upravleniya dvizheniem poezdov: Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt / E. N. Rozenberg, E. E. SHuhina, A. V. Ozerov, V. M. Malinov. Moskva: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Izdatel'skie resheniya», 2020. 210 s. ISBN 978–5–0051–0924–8. EDN RWWACV. (In Russian)
- Hintze P., Pruter F. «But that's not the kilometre in the plan!» — the potential of georeferenced railway infrastructure data // *Signal+Draht*. 2018. Ausgabe 11. P. 6–15.
- Pan D. On Intelligent Automatic Train Control of Railway Moving Automatic Block Systems Based on Multi-Agent Systems / D. Pan, Y. Zheng, C. Zhang // *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, Beijing, China, 29–31 July 2010*. P. 4471–4476.
- Kokurin I. M. Kognitivnyj metod dlya resheniya zadach interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov / I. M. Kokurin, I. A. Pushkin // *Transport Rossii: problemy i perspektivy — 2020: Materialy YUbilejnoj mezhdunarodnoj-nauchno prakticheskoy konferencii, Sankt-Peterburg, 10–11 noyabrya 2020 goda* / © FGBUN Institut problem transporta im. N. S. Solomenko Rossijskoj akademii nauk, 2020 © Kollektiv avtorov, 2020. T. 2. Sankt-Peterburg: Institut problem transporta im. N. S. Solomenko RAN, 2020. S. 18–27. EDN XCFCWK. (In Russian)
- Cvetkov V. Ya. Informacionnaya upravlencheskaya situaciya na transporte / V. Ya. Cvetkov, A. L. Ohotnikov // *Gosudarstvennyj sovetnik*. 2018. № 2 (22). S. 27–33. EDN XRZMPJ. (In Russian)
- Kokurin I. M. Algoritmizaciya reshenij poezdnogo dispetchera po vyboru stancij obgona poezdov na odnoputnom uchastke / I. M. Kokurin, A. B. Vasil'ev // *Vestnik transporta Povolzh'ya*. 2015. № 1 (49). S. 64–73. EDN TQMDJP. (In Russian)
- Kokurin I. M. Avtomatizaciya informacionnoj podderzhki prinyatiya reshenij poezdnym dispetcherom pri organizacii dvizheniya poezdov / I. M. Kokurin, A. B. Vasil'ev // *Avtomatika na transporte*. 2015. T. 1, № 2. S. 156–167. EDN UGYUKT. (In Russian)
- Aleksandrov A. E. Raschet i optimizaciya transportnykh sistem s ispol'zovaniem modelej (teoreticheskie osnovy, metodologiya): special'nost' 05.22.08 "Upravlenie processami perevozok" : dis. ... dokt. tekhn. nauk. Ekaterinburg, 2008. 285 s. EDN QEHPZH. (In Russian)
- Besedin A. I. Opredelenie poter' nalichnoj propusknoj sposobnosti dvuhputnyh i mnogoputnyh zheleznodorozhnyh uchastkah, oborudovannyh avtoblokirovkoj, ot dejstviya preduprezhdenij po ogranicheniyu skorostej dvizheniya poezdov / A. I. Besedin // *Nauka i tekhnika transporta*. 2008. № 3. S. 12–15. EDN JUKTWT. (In Russian)