

Оптимизация условий организации движения соединенных поездов на постоянной основе на Транссибирской магистрали Восточного полигона сети железных дорог

М. И. МЕХЕДОВ, Е. А. СОТНИКОВ, П. С. ХОЛОДНЯК, Д. А. КУРСИН, Н. В. КОРНИЕНКО

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Разработана целевая функция решения задачи повышения провозной способности загруженных линий за счет организации движения соединенных (сдвоенных) поездов на постоянной основе, предусматривающая минимизацию инвестиционных и текущих расходов. Рассмотрены условия постоянного обращения соединенных поездов на линии Сковородино—Смоляниново Транссибирской магистрали, где перспективные грузопотоки превышают наличную пропускную способность. Все решения разработаны для этой линии. Учитывается, что основные инвестиции на реализацию нового метода связаны с развитием станций для работы с соединенными поездами, а также с усилением системы электроснабжения для вождения соединенных поездов двойной массы. Дополнительные текущие расходы определяются необходимостью выполнения различных технологических операций с соединенными поездами. Установлено расчетное количество соединенных поездов $N_{сп}^{расч}$ для обеспечения потребной перспективной провозной способности. Величина $N_{сп}^{расч}$ в целях экономии расходов минимизируется на основе сравнения значений максимально возможного количества соединенных, а также одинарных поездов с потребной провозной способностью на различных участках линии. Рассмотрена методика размещения станций соединения/разъединения поездов, максимально совмещенных со станциями смены локомотивных бригад, обеспечивающая экономию инвестиций и текущих расходов. Из трех возможных вариантов размещения таких станций выбран оптимальный. Рассмотрены две принципиальные схемы станций для соединения/разъединения поездов — с последовательным и параллельным выполнением операций. Показано, что минимизацию расходов обеспечивает последовательное (поточное) выполнение этих операций. В целях экономии инвестиций разработка технического проекта для реализации нового метода должна предусматривать возможность использования для выполнения операций соединения/разъединения поездов и смены локомотивных бригад вспомогательных станций, имеющих более благоприятные топографические условия и расположение пристанционной застройки для их развития. Даны конкретные предложения по данному вопросу для рассматриваемой линии Транссибирской магистрали. С учетом действующих положений разработана методика расчета эксплуатируемого парка локомотивов, обслуживающих соединенные поезда, размеры которого минимизируются. Организация вождения соединенных поездов на постоянной основе обеспечивает эффективное освоение перспективного грузопотока.

Ключевые слова: соединенные поезда; провозная способность; исчерпание провозной способности; оптимальные

решения; выбор станций соединения поездов; потребное количество локомотивов; освоение объемов перевозок

Введение. В АО «ВНИИЖТ» разработан новый метод повышения провозной способности высокозагруженных двухпутных электрифицированных линий, перспективные грузопотоки на которых превышают их наличную провозную способность. Новый метод предусматривает организацию движения соединенных (сдвоенных) поездов (СП) на постоянной основе. На ряде зарубежных железных дорог [1, 2] используется соединение трех и более поездов, но такие соединения применяются на специализированных для тяжеловесного движения линиях. На существующих неспециализированных линиях при увеличении числа соединяемых поездов существенно возрастают трудности с удлинением станционных путей, усилением системы электроснабжения, обеспечением безопасности движения.

На основе разработанных в АО «ВНИИЖТ» и утвержденных ОАО «РЖД» концепции создания таких линий [3] и типовой технологии их работы [4] ниже рассмотрены условия практического использования данного метода на Транссибирской магистрали.

По данным о перспективных грузопотоках на Транссибе в пределах Восточного полигона установлено, что новый метод может использоваться на линии Сковородино—Смоляниново. Здесь с учетом развития БАМ прогнозируется особо значительный рост грузопотока — на различных участках от 25 до 46 % с исчерпанием провозной способности.

Целевая функция выбора оптимальных решений. Выбор наилучших технических и технологических условий развития существующих линий для организации движения СП на постоянной основе требует принятия оптимизационных решений, перечень которых и основные влияющие факторы могут быть установлены на основе комплексной оценки возможностей снижения расходов по всем инвестиционным и изменяющимся текущим расходам в виде целевой

функции. При этом учитываются принятые в [5] условия построения целевой функции для решения задач организации перевозочного процесса. При построении целевой функции (1) используются данные [4, 6] о том, что основные инвестиции на реализацию нового метода связаны: с развитием станций, где выполняются технологические операции по соединению/разъединению поездов, смене локомотивных бригад; усилением системы электроснабжения на участках для обеспечения постоянного обращения СП двойной массы. Дополнительные текущие расходы определяются необходимостью выполнения технологических операций с СП.

Рассматриваемая целевая функция для условий полного освоения предъявляемых перевозок СП, определяемая расходами, имеет следующий вид:

$$C_{\text{СП}} = \min \left\{ \begin{array}{l} K_{\text{инв}}^{\min} \left[\begin{array}{l} K_{\text{ст}}^{\min} (n_{\text{сп}}^{\min}, n_{\text{лб}}^{\min}, n_{\text{всп}}^{\min}, n_{\text{обг}}^{\min}), \\ K_{\text{эл}}^{\min} (N_{\text{сп}}^{\min}, L_{\text{эл}}^{\min}) \end{array} \right], \text{руб.}, \\ E_{\text{техн}}^{\min} \left[\begin{array}{l} E_{\text{сп}}^{\min} (T_{\text{сп}}^{\min}, T_{\text{пто}}^{\min}), \\ E_{\text{м}}^{\min} (M_{\text{эп}}^{\min}, T_{\text{об}}^{\min}) \end{array} \right], \text{руб./год} \end{array} \right. \quad (1)$$

при

$$G_{\text{СП}} \geq G_{\text{потр}};$$

$$N_{\text{СП}} \rightarrow \min,$$

где $C_{\text{СП}}$ — расходы на инвестиции и текущие затраты, приведенные к значениям, используемым при определении дисконтированных денежных потоков, руб. [7]; $G_{\text{потр}}$ — потребная перспективная провозная способность линии, измеряемая в одинарных поездах (ОП), ОП/сут; $G_{\text{СП}}$ — провозная способность линии [8], где организуется движение СП на постоянной основе, измеряемая в ОП, ОП/сут; $N_{\text{СП}}$ — количество СП, обеспечивающее достижение потребной провозной способности, СП/сут; $K_{\text{инв}}^{\min}$ — капитальные инвестиционные расходы на развитие инфраструктуры; $K_{\text{ст}}^{\min}$ — минимизируемые расходы на развитие станций на соединение/разъединение поездов и смену локомотивных бригад, достигаемые за счет минимизации количества таких станций $n_{\text{сп}}^{\min}, n_{\text{лб}}^{\min}$, использования вспомогательных станций $n_{\text{всп}}$, а также минимизации количества станций постановки СП на обгон пассажирскими поездами $n_{\text{обг}}^{\min}$; $K_{\text{эл}}^{\min}$ — минимизируемые инвестиционные расходы на усиление системы электроснабжения, достигаемые за счет минимизации количества СП $N_{\text{сп}}^{\min}$ и длины участков обращения СП $L_{\text{эл}}^{\min}$; $E_{\text{техн}}^{\min}$ — эксплуатационные расходы; $E_{\text{сп}}^{\min}$ — минимизируемые расходы на соединение/разъединение поездов, достигаемые за счет использования технологии, обеспечивающей минимальное время выполнения собственно операций соединения/разъединения поездов, достигаемые за счет использования технологии, обеспечивающей минимальное время выполнения операций, связанных с работой пунктов техни-

ческого обслуживания (ПТО) вагонов по обработке СП $T_{\text{пто}}^{\min}$; $E_{\text{м}}^{\min}$ — минимизируемые расходы, связанные с тягой СП локомотивами эксплуатируемого парка, обслуживающими СП $M_{\text{эп}}^{\min}$, оборудованием локомотивов устройствами для обеспечения вождения СП, а также минимизацией времени оборота локомотивов $T_{\text{об}}^{\min}$.

Из функции (1) могут быть определены требующие решения оптимизационные задачи, наиболее значимые из которых рассмотрены далее применительно к линии Сковородино—Смоляниново Транссибирской магистрали.

Определение потребного количества СП. Прежде всего, должно быть обеспечено достижение потребной провозной способности $G_{\text{потр}}$. В свою очередь, достижение значения $G_{\text{СП}}$ должно выполняться при соблюдении условия $N_{\text{СП}} \rightarrow \min$, что минимизирует расходы на строительство дополнительных станционных путей двойной длины, усиление системы электроснабжения, а также на задержки поездов, связанные с выполнением дополнительных технологических операций с СП.

На основании разработанной методики с учетом изменения поездопотока по станциям примыкания других линий к Транссибирской магистрали определены потребные перспективные размеры движения СП $N_{\text{СП}}^{\text{потр}}$ и ОП $N_{\text{оп}}^{\text{потр}}$ на участках линии Сковородино—Смоляниново (рис. 1).

Полученные результаты необходимо сравнить с возможностями участков по пропуску такого количества СП и ОП. Для этого была разработана имитационная модель движения поездов на линии Сковородино—Смоляниново [9, 10], учитывающая особенности движения СП, определенные в [3, 4]. С использованием данной модели получены максимально возможные размеры движения СП и ОП — $N_{\text{СП}}^{\text{возм}}$ и $N_{\text{оп}}^{\text{возм}}$ (рис. 1). Сравнение потребных и максимально возможных размеров движения показывает, что использование СП на постоянной основе обеспечивает освоение перспективных грузопотоков. Эти же данные показывают и на возможность минимизации значений $N_{\text{СП}}^{\text{потр}}$.

Например, на участке Хабаровск II—Барановский $N_{\text{СП}}^{\text{потр}} = 30$ СП/сут. В то же время на данном участке в графике движения возможно проложить только 27 СП/сут, что, однако, компенсируется дополнительной прокладкой 7 ОП/сут. С учетом этого расчетное количество СП и ОП составит $N_{\text{СП}}^{\text{расч}} = 27$ СП/сут, $N_{\text{оп}}^{\text{расч}} = 56$ ОП/сут.

В целом количество СП минимизируется по условию

$$N_{\text{гр}}^{\text{потр}} = 2N_{\text{СП}}^{\text{расч}} + N_{\text{оп}}^{\text{расч}}, \text{ ОП/сут}, \quad (2)$$

где $N_{\text{гр}}^{\text{потр}}$ — потребное перспективное количество грузовых поездов в одинарном исчислении.

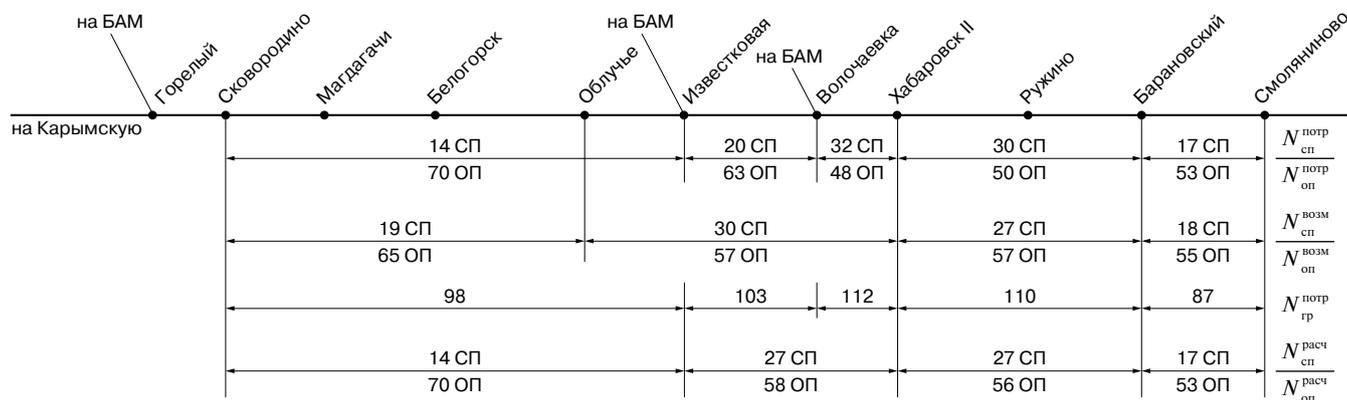


Рис. 1. Принятые расчетные значения количества СП и ОП для участков линии Сковородино—Смоляниново

Fig. 1. Stated calculated values of the number of double trains (DT) and single trains (ST) for sections of the Skovorodino—Smolyaninovo line

При определении значений $N_{сп}^{расч}$ должно быть учтено условие максимально возможного совмещения станций смены локомотивных бригад со станциями соединения/разъединения поездов [3]. По этому условию между станциями Известковая и Хабаровск II должно быть одинаковое количество СП, поскольку на расположенных здесь станциях не выполняются операции по соединению и разъединению поездов. Несоблюдение этого условия приведет к увеличению потребности в инвестициях на развитие станций, строительство новых домов отдыха локомотивных бригад, устройство новых ПТО вагонов. На участке Волочаевка—Хабаровск II количество СП сокращено с 32 до 27, на участке Хабаровск II—Барановский — с 30 до 27.

Выбор станций соединения/разъединения поездов и смены локомотивных бригад. В соответствии с (1) необходимо определить размещение станций соединения/разъединения поездов $n_{сп}^{мин}$ для экономии инвестиций и текущих расходов. Прежде всего, должно быть обеспечено их максимально возможное совмещение со станциями смены локомотивных бригад. Станциями смены локомотивных бригад на линии Сковородино—Смоляниново являются: Сковородино, Магдагачи, Белогорск, Облучье, Хабаровск II, Ружино. Из этих же станций следует выбирать и варианты размещения станций соединения/разъединения.

При выборе вариантов учитывается, что часть ОП поступает на линию Сковородино—Смоляниново со станции Карымская (рис. 1). Такие поезда после смены локомотивных бригад на станции Уруша следуют без остановки до станции Сковородино. Из этих поездов формирование СП целесообразно выполнять на станции Облучье. ОП, следующие с БАМ, проходят смену локомотивных бригад в Смоляниново, где их и целесообразно соединять в СП.

Также учтено, что из-за сложного профиля пути необходимо максимально сокращать количество СП на участке Барановский—Смоляниново.

На рис. 2 представлены возможные варианты выбора станций соединения/разъединения поездов.

При сравнении вариантов необходимо учитывать следующие меры усиления технического оснащения станций и участков:

а) устройство специализированных технологических путей с целью обеспечения поточного с минимальными затратами времени выполнения операций соединения/разъединения поездов, а также минимизации задержек в поездной и маневровой работе на таких станциях;

б) устройство путей двойной длины на станциях смены локомотивных бригад у СП;

в) усиление устройств электроснабжения на участках, где предусматривается обращение СП на постоянной основе;

г) развитие ПТО вагонов на станциях соединения/разъединения поездов и станциях смены в СП локомотивных бригад.

При определении мер по усилению технического оснащения учитывается, что общее расчетное количество СП и ОП, следующих по участкам, не изменяется по вариантам. Поэтому и общее количество локомотивов и локомотивных бригад по участкам для различных вариантов практически не изменяется. Также одинаковым является и общее количество операций по соединению/разъединению поездов.

Рассмотрим значения переменных величин, участвующих в расчете, по составляющим группам.

а) Дополнительное количество специализированных технологических путей для соединения/разъединения поездов определяется по данным рис. 2 и по вариантам 1, 2, 3, представленным в табл. 1. На этапе сравнения вариантов принимается, что при

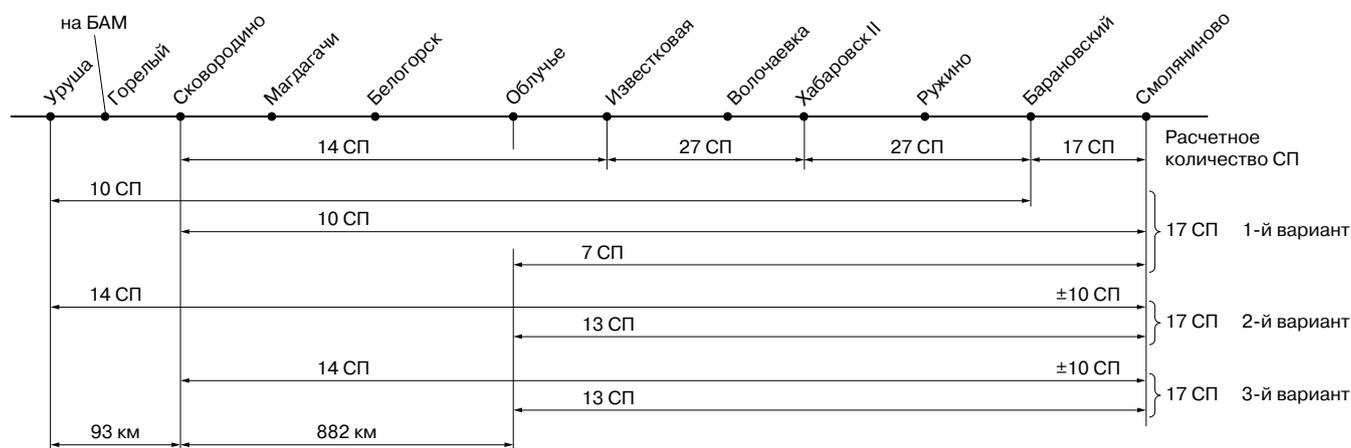


Рис. 2. Возможные варианты выбора станций соединения/разъединения поездов на линии Уруша—Смоляниново
Fig. 2. Possible options for choosing stations for connecting/disconnecting trains on the Urusha—Smolyaninovo line

соединении более 10 СП в сутки требуется два специализированных пути. Затраты времени на разъединение поездов примерно в два раза меньше, поэтому второй путь требуется при разъединении более 20 поездов.

Например, на станции Сквородино в третьем варианте требуется соединение/разъединение 14 СП/сут. В этом случае требуются два специализированных пути для соединения и один специализированный путь для разъединения поездов. По станции Облучье во втором варианте требуются соединение/разъединение 13 СП/сут. В этом случае также требуется два специализированных пути для соединения и один специализированный путь для разъединения поездов.

б) Дополнительное количество путей двойной длины для выполнения операций смены локомотивных бригад определяется по данным рис. 2 и по вариантам 1, 2, 3, представленным в табл. 2. Для вариантных расчетов принимается, что при количестве операций по смене локомотивных бригад более 10 СП в сутки требуются два пути двойной длины.

Например, в первом варианте по станции Облучье осуществляется смена локомотивных бригад у 20 СП/сут, а во втором варианте у 14 СП/сут. В обоих вариантах требуется по два пути двойной длины.

в) Определение мер по усилению устройств электроснабжения [11] выполняется на основе данных рис. 2, на котором указаны расстояния между станциями Уруша, Сквородино и Облучье.

В табл. 3 приведены данные по вариантам количества СП, следующих по участкам ($N_{сп}$), и протяженности главных путей, требующих усиления устройств электроснабжения при пропуске СП ($L_{гл}^{эл}$).

г) Дополнительные ПТО вагонов [12, 13] могут потребоваться при устройстве специализированных путей для соединения поездов. Они обязательны для обслуживания СП на путях двойной длины при смене локомотивных бригад. Соответственно, затраты по развитию ПТО вагонов определяются количеством путей для соединения поездов и для смены локомотивных бригад, т. е. по данным табл. 1 и 2. По первому

Таблица 1

Дополнительное количество специализированных технологических путей для соединения/разъединения поездов по вариантам 1, 2, 3

Table 1

Additional number of specialized technological tracks for connecting/disconnecting trains according to options 1, 2, 3

№ варианта	Операции	Станции, направление движения						Всего дополнительных путей		Всего путей по вариантам на всех станциях
		Уруша		Сквородино		Облучье		четное	нечетное	
		четное	нечетное	четное	нечетное	четное	нечетное			
1	Соединение	1	—	1	—	1	—	3	—	6
	Разъединение	—	1	—	1	—	1	—	3	
2	Соединение	2	—	—	—	2	—	4	—	6
	Разъединение	—	1	—	—	—	1	—	2	
3	Соединение	—	—	2	—	2	—	4	—	6
	Разъединение	—	—	—	1	—	1	—	2	

Таблица 2
Количество операций по смене локомотивных бригад $n_{лб}$ и количество путей двойной длины $n_{пут}$ на станциях смены локомотивных бригад по вариантам 1, 2, 3

Table 2
Number of operations $n_{лб}$ to change locomotive crews and number $n_{пут}$ of double-length tracks at stations for changing locomotive crews according to options 1, 2, 3

№ варианта	Показатель	$n_{лб}$ и $n_{пут}$ по станциям				Всего $n_{лб}$ и $n_{пут}$ по вариантам
		Сковородино	Магдлагачи	Белогорск	Облучье	
1	$n_{лб}$	10	20	20	20	70
	$n_{пут}$	1	2	2	2	7
2	$n_{лб}$	14	14	14	14	56
	$n_{пут}$	2	2	2	2	8
3	$n_{лб}$	—	14	14	14	42
	$n_{пут}$	—	2	2	2	6

Таблица 3
Значения $N_{сп}$ и $L_{гл}^{эл}$ по вариантам 1, 2, 3

Table 3
 $N_{сп}$ and $L_{гл}^{эл}$ values for options 1, 2, 3

№ варианта	Показатель	Значения $N_{сп}$, СП/сут и $L_{гл}^{эл}$, км по участкам и вариантам	
		Уруша—Сковородино	Сковородино—Облучье
1	$N_{сп}$	10	20
	$L_{гл}^{эл}$	93	882
2	$N_{сп}$	14	14
	$L_{гл}^{эл}$	93	882
3	$N_{сп}$	—	14
	$L_{гл}^{эл}$	—	882

Таблица 4
Сводные данные по усилению технического оснащения линии Уруша—Смоляниново по вариантам 1, 2, 3

Table 4
Summary data on strengthening the technical equipment of the Urusha—Smolyaninovo line by options 1, 2, 3

№ варианта	$n_{лб} + n_{пут}$, ед.	$n_{пто}$, ед.	$L_{гл}^{эл}$ и $N_{сп}$ по вариантам	
			$L_{гл}^{эл}$, км	$N_{сп}$, СП/сут
1	13	10	93	10
			882	20
2	14	12	975	14
3	12	10	882	14

варианту дополнительное устройство ПТО вагонов требуется для 10 путей, по второму — для 12 путей, по третьему — для 10 путей (табл. 4).

Из сводных данных по усилению технического оснащения линии Уруша—Смоляниново по вариантам 1, 2, 3 (табл. 4) следует, что наиболее эффективным (оптимальным) является третий вариант.

Согласно (1) в случае затруднений с развитием станций соединения/разъединения поездов и смены локомотивных бригад (в целях экономии инвестиций) пути двойной длины могут устраиваться на близрасположенных вспомогательных станциях с доставкой к ним локомотивных бригад. Изучение на предпроектной стадии топографических условий и расположения пристанционной застройки показало, что вспомогательными станциями могут быть: Ядрин для станции Облучье, Лесозаводск для станции Ружино, Раздольное для станции Барановский и Шкотово для станции Смоляниново. Это минимизирует затраты на развитие станций ($K_{ст}^{min}$).

Сокращение или даже исключение затрат на развитие промежуточных станций, где совершается обгон СП пассажирскими поездами, достигается за счет построения графика движения со специализированными «безобгонными» нитками для СП [14]. На линии Сковородино—Смоляниново такие возможности имеются вследствие небольших размеров пассажирского движения, что показали разработанные с использованием имитационной модели (АПК «ЭЛБРУС») графики движения поездов.

Специализированные технологические линии на станциях. Минимизация текущих затрат на соединение/разъединение поездов достигается за счет использования специализированных технологических линий на станциях для выполнения этих операций. Возможны две принципиальные схемы станций: с последовательным и параллельным выполнением маневровых передвижений. На рис. 3 представлены технологические схемы для последовательного (а) и параллельного (б) выполнения операций соединения поездов. На схеме а выполняется два передвижения — ОП 1 на технологический путь и после этого ОП 2 также на технологический путь с присоединением к ОП 1. По схеме б для образования СП выполняется два передвижения — ОП 1 на вытяжной путь, а затем на 2-й станционный путь с присоединением к поезду ОП 2. Для возможности сравнения затрат времени и расходов по этим вариантам во второй схеме необходимо привести СП в положение, которое он достигает в схеме а. Таким образом, в сравниваемых условиях в схеме а соединение поездов требует в расчете на один ОП преодоления расстояния $l_1 + l_2$, а в схеме б — $l_3 + l_4 + 2l_5$. Очевидно, что схема а эффективнее схемы б, в том числе и по длине потребных станционных путей. Поэтому схему а следует использовать для соединения поездов. Аналогичные расчеты показывают, что и при разъединении поездов должна использоваться схема станций с последовательным выполнением данной технологической операции.

Потребное количество локомотивов. Локомотивы, обслуживающие СП, должны оборудоваться устрой-

ствами для обеспечения их вождения — ИСАВП-РТ (или аналогичными системами по функциональным возможностям) [15]. Определение количества таких локомотивов $N_{эл}$ выполняется на основе действующих положений [7] с учетом особенности организации работы с СП:

$$N_{эл} = \frac{\sum pl}{Q S_{сут} \varphi_{л} 365}, \text{ локомотивов,} \quad (3)$$

где $\sum pl$ — грузооборот, выполняемый локомотивами, обслуживающими СП, т-км брутто; Q — средняя масса поездов (в одинарном исчислении), следующих с локомотивами, обслуживающими СП, т брутто; $S_{сут}$ — среднесуточный пробег локомотивов эксплуатируемого парка, занятых обслуживанием СП, км; $\varphi_{л}$ — коэффициент производительности локомотивов, учитывающий долю поездо-километров и локомотиво-километров линейного пробега.

Расчет эксплуатируемого парка локомотивов выполняется по графику движения поездов, построенному на основе имитационной модели, при условии движения минимального расчетного количества СП. Соответственно, в расчетах могут использоваться значения $\sum pl$, Q , $S_{сут}$, получаемые по результатам имитационного моделирования. Коэффициент $\varphi_{л}$ в этом случае становится равным единице, поскольку все составляющие формулы (3) относятся исключительно к локомотивам, обслуживающим СП. Для расчета потребного количества локомотивов $N_{эл}$ требуется дополнительно учесть локомотивы, обслуживающие СП и выполняющие пробег в одиночном следовании. Необходимо использовать показатели, характеризующие СП, — количество, массу на различных участках линии Сквородино (Уруша)—Смоляниново. Станция Уруша в расчетах учитывается, поскольку локомотивы, обслуживающие СП, следуют до этой станции с ОП. Например, СП, сформированные в Смоляниново (Шкотово), могут следовать до станции Облучье (Ядрин) и далее ОП до станции Сквородино без смены локомотивов, при этом тонно-километровая работа для локомотивов, обслуживающих СП, определяется по сумме максимального количества СП соответствующей массы на участке линии Сквородино (Уруша)—Смоляниново в обоих направлениях движения с учетом их следования с СП и ОП на всем ее протяжении.

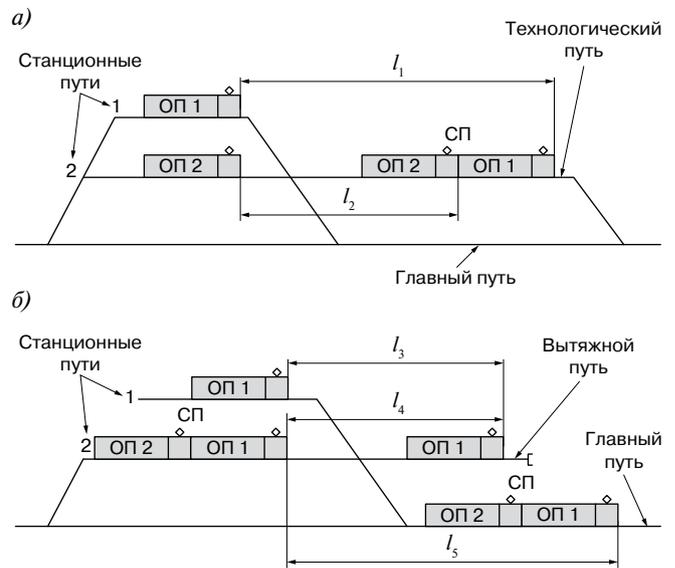


Рис. 3. Схемы станций:
 а — с последовательным выполнением операций соединения поездов; б — с параллельным выполнением операций соединения поездов
 Fig. 3. Station diagrams:
 а — with sequential execution of train connection operations;
 б — with parallel execution of train connection operations

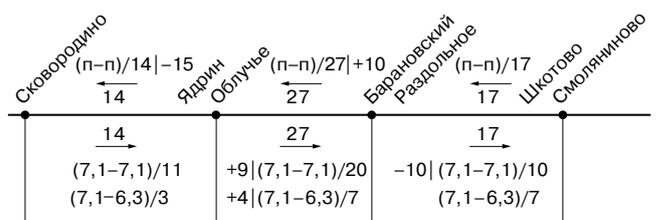
Принятые при построении графика движения сводные данные по количеству и схемам формирования СП приведены на рис. 4.

Из рис. 4 следует, что различные СП имеют массу: $7,1 + 7,1 = 14,2$ тыс. т, $7,1 + 6,3 = 13,4$ тыс. т и $1,7 + 1,7 = 3,4$ тыс. т, причем в нечетном направлении следуют только СП из порожних маршрутов массой 3,4 тыс. т. С использованием этих данных определяются значения грузооборота $\sum pl$ и средней массы поездов Q в формуле (3). Для определения среднесуточного пробега $S_{сут}$ необходимо иметь данные о времени нахождения локомотивов, обслуживающих СП на линии Сквородино (Уруша)—Смоляниново. Расчетная схема для определения времени выполняемых операций с локомотивами, обслуживающими СП, для каждого назначения СП приведена на рис. 5.

Например, для назначения СП (4 СП) Сквородино—Смоляниново (Шкотово) перечень операций включает в себя:

Рис. 4. Принятые в графике движения сводные данные по количеству, массе и схемам формирования СП: 7,1 — ОП массой 7,1 тыс. т.; 6,3 — ОП массой 6,0–6,3 тыс. т.; п — порожний ОП массой 1,7 тыс. т.; 14, 27, 17 — размеры движения СП на участке; +10 — увеличение (–15 — уменьшение) количества СП соответствующей схемы формирования

Fig. 4. Stated data on the number, mass and schemes of formation of DT adopted in the traffic schedule: 7,1 — ST weighing 7.1 thousand tons; 6,3 — ST weighing 6.0–6.3 thousand tons; п — empty ST weighing 1.7 thousand tons; 14, 27, 17 — traffic amount of DT on the section; +10 — increase (–15 — decrease) in the number of DT of the corresponding formation scheme



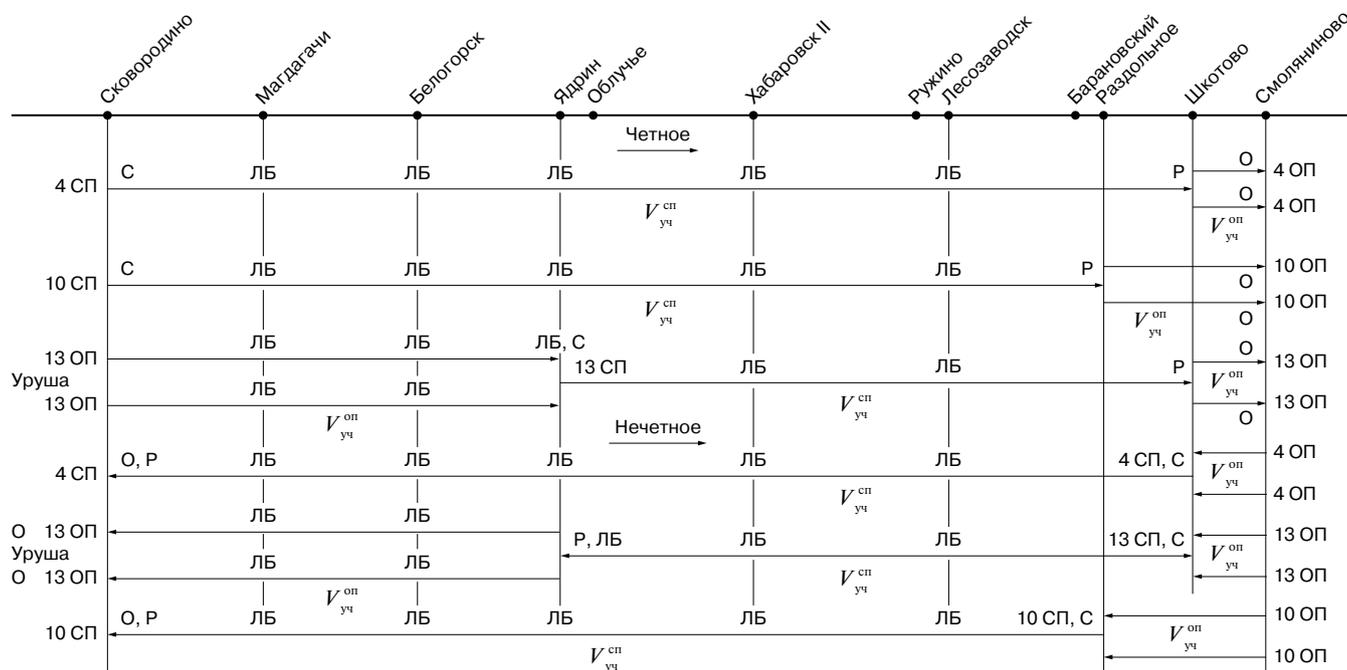


Рис. 5. Расчетная схема по назначениям СП для определения времени следования локомотивов, обслуживающих СП на линии Сковородино (Уруша)—Смоляниново: ЛБ — смена локомотивных бригад; С — соединение поездов; Р — разъединение СП; О — оборот локомотивов со сменой локомотивных бригад; $V_{уч}^{оп}$ — участковая скорость ОП; $V_{уч}^{сп}$ — участковая скорость СП

Fig. 5. Calculation scheme for directions of DT to determine travel time of locomotives handling the DT on the Skovorodino (Urusha)—Smolyaninovo line:

ЛБ — change of locomotive crews; С — train connection; Р — disconnection of DT; О — turnover of locomotives with a change of locomotive crews; $V_{уч}^{оп}$ — sectional speed of ST; $V_{уч}^{сп}$ — sectional speed of DT

1. Соединение (С) поездов на станции Сковородино.
2. Смена локомотивных бригад (ЛБ) на станциях Магдагачи, Белогорск, Ядрин (Облучье), Хабаровск II, Лесозаводск (Ружино).
3. Разъединение поездов (Р) на станции Шкотово.
4. Оборот локомотивов (О) на станции Смоляниново.
5. Следование по участкам от станции Сковородино до станции Шкотово с участковой скоростью $V_{уч}^{сп}$.
6. Следование от станции Шкотово до станции Смоляниново с участковой скоростью $V_{уч}^{оп}$.

Суммарное время, полученное на основании учета данных по операциям 1–6, определяет затраты времени локомотивов рабочего парка [16]. Полное значение этого времени для локомотивов эксплуатируемого парка [17] определяется по реальному соотношению количества локомотивов эксплуатируемого и рабочего парка. С учетом данных по всем назначениям СП величина $N_{эп}$ составила 279 локомотивов.

Вывод. Выполненные технико-экономические расчеты показали, что использование нового метода организации движения соединенных поездов на постоянной основе позволяет полностью обеспечить эффективное освоение перспективных объемов перевозок на линии Сковородино—Смоляниново Транссибирской магистрали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шенфельд К. П., Захаров С. М. Конференция Международной ассоциации тяжеловесного движения в Кейптауне // Железные дороги мира. 2017. № 11. С. 63–66.
2. Захаров С. М., Шенфельд К. П. Развитие тяжеловесного движения в мире // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2013. № 4. С. 9–18.
3. Концепция освоения возрастающих объемов перевозок с применением технологии организации движения соединенных поездов на постоянной основе: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 18 августа 2020 г. № 1756/р.
4. Типовая технология организации и продвижения вагонопотока за счет формирования двоярных поездов на постоянной основе, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 14 сентября 2020 г. № 1963/р.
5. Поплавский А. А. Автоматизированная система управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта в оперативном режиме: (сетевой и региональный уровни). Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Интекст, 2008. 192 с.
6. Сотников Е. А., Мехедов М. И., Холодняк П. С. Интенсификация загруженных направлений сети железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 17–20.
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. Минэкономики РФ, Минфин РФ, Госстрой РФ от 21 июня 1999 г. № ВК-477. 201 с.
8. Шенфельд К. П., Сотников Е. А. Пути научно-практического решения повышения провозной способности железных дорог // Управление товарными потоками и перевозочным процессом на железнодорожном транспорте на основе клиентоориентированности и логистических технологий: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого

совета ОАО «РЖД» / под ред. Б. М. Лапидуса, А. Т. Осьминина. СПб.: Лема, 2019. С. 106–113.

9. Виноградов С. А., Кириякин В. Ю., Анфиногенов А. Ю. Прогнозные энергосберегающие графики движения поездов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 8. С. 22–25.

10. Полигонные технологии движения поездов по графикам на основе автоматизированной системы «ЭЛЬБРУС» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2015. № 3. С. 13–19.

11. Инструкция по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 1 сентября 2016 г. № 1799р в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 31 января 2019 г. № 166/р.

12. Моделирование технологических процессов с повышением эффективности работы вагоноремонтных предприятий / Г. В. Райков [и др.] // Транспортное дело России. 2019. № 6. С. 143–144.

13. Кузнецов М. А., Райков Г. В. Повышение эффективности работы вагонного комплекса за счет оптимизации их параметров системы технического обслуживания и ремонта // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всерос. науч.-практ. конф. к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта: в 2 ч. / ред. А. Б. Косарев, Г. В. Гогричиани. М.: РАС, 2019. Ч. 2. С. 209–213.

14. Кириякин В. Ю., Новгородцева А. В. Полигонная технология формирования прогнозных вариантов графиков с использованием АПК «ЭЛЬБРУС» // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2014. № 1. С. 16–21.

15. «ИСАВП РТ» — новая технология грузовых перевозок [Электронный ресурс] // Евразия Вести. 2004. № 1. URL: <https://www.eav.ru/publ1p.php?publit=2004-01a09> (дата обращения: 15.04.2020 г.).

16. Методика по определению потребных парков локомотивов для освоения прогнозируемых объемов перевозок грузов и пассажиров на долгосрочную перспективу: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 7 октября 2015 г. № 2993р.

17. Некрашевич В. И., Апатцев В. И. Управление эксплуатацией локомотивов: учеб. пособие. М.: Московский гос. ун-т путей сообщения, 2014. 340 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МЕХЕДОВ Михаил Иванович,

канд. техн. наук, заместитель Генерального директора, директор научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (НЦ «ЦМПЭ»), АО «ВНИИЖТ»

СОТНИКОВ Евгений Александрович,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

ХОЛОДНЯК Павел Сергеевич,

начальник отдела, НЦ «ЦМПЭ», АО «ВНИИЖТ»

КУРСИН Дмитрий Александрович,

канд. техн. наук, главный программист, НЦ «ЦМПЭ», АО «ВНИИЖТ»

КОРНИЕНКО Наталья Владимировна,

ведущий технолог, НЦ «ЦМПЭ», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 22.10.2020 г., принята к публикации 06.11.2020 г.

Для цитирования: Оптимизация условий организации движения соединенных поездов на постоянной основе на Транссибирской магистрали Восточного полигона сети железных дорог / М. И. Мехедов [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 1. С. 4–12. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-1-4-12>.

Condition optimization for organizing the operation of connected trains on an ongoing basis on the Trans-Siberian Railway of the Eastern operational range of the railway network

M. I. MEKHEDOV, E. A. SOTNIKOV, P. S. KHOLODNYAK, D. A. KURSIN, N. B. KORNIENKO

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

Abstract. A target function has been developed for solving the problem of increasing the carrying capacity of loaded lines by organizing the motion of connected (double) trains on an ongoing basis, providing for the minimization of investment and operating costs. Conditions of constant circulation of connected trains on the Skovorodino—Smolyaninovo line section of the Trans-Siberian Railway, where the prospective freight flows exceed the available carrying capacity, are considered. All solutions are designed especially for this section. It is taken into account that the main investments for the implementation of the new method are related to the development of stations for working with connected trains, as well as to strengthening the power supply system for driving connected trains of double mass. Additional operating costs are determined by the need to perform various technological operations with connected trains. Estimated number of connected trains $N_{\text{сн}}^{\text{расч}}$ has been established to ensure the required long-term carrying capacity. In order to save costs, the value of $N_{\text{сн}}^{\text{расч}}$ is minimized on the basis of

comparing the values of the maximum possible number of connected as well as single trains with the required carrying capacity on different sections of the line. The article considers methodology for the placement of stations for connecting/disconnecting trains, maximally combined with stations for changing locomotive crews, which provides savings in investment and operating costs. The optimal one was chosen from three possible options of such stations placement. Two schematic diagrams of stations for connecting/disconnecting trains are considered — with sequential and parallel execution of operations. It is shown that the minimization of costs is ensured by the sequential (flow) execution of these operations. In order to save investments, the development of a technical design for the implementation of a new method should provide the possibility of using auxiliary stations for connecting/disconnecting trains and changing locomotive crews of auxiliary stations with more favorable topographic conditions and the location of the station buildings for its development. Specific proposals on this issue are

given for the considered line section of the Trans-Siberian Railway. Taking into account the current provisions, a method has been developed for calculating the operating fleet of locomotives handling connected trains, the size of which is minimized. Organization of the driving of connected trains on an ongoing basis ensures the effective development of the prospective freight traffic.

Keywords: connected trains; carrying capacity; exhaustion of carrying capacity; optimal solutions; selection of train connection stations; required number of locomotives; development of traffic volumes

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-1-4-12>

REFERENCES

- Shenfel'd K. P., Zakharov S. M. *Konferentsiya Mezhdunarodnoy assotsiatsii tyazhelovesnogo dvizheniya v Keyptaune* [Conference of the International Heavy Traffic Association in Cape Town]. Rail International, 2017, no. 11, pp. 63–66.
- Zakharov S. M., Shenfel'd K. P. *Razvitie tyazhelovesnogo dvizheniya v mire* [Development of heavy haul traffic in the world]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2013, no. 4, pp. 9–18.
- The concept of the development of increasing traffic volumes using the technology of organizing the motion of connected trains on an ongoing basis*. Approved by the Order of the JSC "Russian Railways" dated August 18, 2020 No. 1756/r (in Russ.).
- Typical technology for organizing and promoting car traffic through the formation of double trains on an ongoing basis. Approved by the Order of the JSC "Russian Railways" dated September 14, 2020 No. 1963/r (in Russ.).
- Poplavskiy A. A. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya perevozhnym protsessom zheleznodorozhnogo transporta v operativnom rezhime: (setevoy i regional'nyy urovni). Izd. 2-e, pererab. i dop.* [Automated control system of the transportation process of railway transport on-line: (network and regional levels). Ed. 2nd, revised and amended]. Moscow, Intext Publ., 2008, 192 p.
- Sotnikov E. A., Mekhedov M. I., Kholodnyak P. S. *Intensifikatsiya zagruzhennykh napravleniy seti zheleznykh dorog* [Intensification of loaded directions of the railway network]. Zheleznodorozhnyy transport, 2020, no. 3, pp. 17–20.
- Guidelines for assessing the effectiveness of investment projects*. Approved by the Ministry of Economy of the Russian Federation, the Ministry of Finance of the Russian Federation, the Gosstroy of the Russian Federation dated June 21, 1999 No. VK-477, 201 p. (in Russ.).
- Shenfel'd K. P., Sotnikov E. A. *Ways of scientific and practical solutions to increase the carrying capacity of railways*. Management of commodity flows and transportation process in railway transport based on customer focus and logistics technologies: collective monograph of members and scientific partners of the Joint Scientific Council of the JSC "Russian Railways"; edited by B. M. Lapidus, A. T. Os'minin. St. Petersburg, Lema Publ., 2019, pp. 106–113.
- Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Anfinogenov A. Yu. *Prognoznye energosberegayushchie grafiki dvizheniya poezdov* [Forecast energy-saving train schedules]. Zheleznodorozhnyy transport, 2011, no. 8, pp. 22–25.
- Muginshstein L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Novgorodtseva A. V. *Polygon technologies for the train motion according to schedules based on the automated system "ELBRUS"*. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 3, pp. 13–19.

nologies for the train motion according to schedules based on the automated system "ELBRUS". Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 3, pp. 13–19.

11. *Instructions for organizing the circulation of freight trains of increased weight and length on public railways*. Approved by the Order of the JSC "Russian Railways" on September 1, 2016 No. 1799r as amended by the Order of the JSC "Russian Railways" dated January 31, 2019 No. 166/r (in Russ.).

12. Raykov G. V., Sergeev K. A., Krivich O. Yu., Bombardirov A. P. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov s povysheniem effektivnosti raboty vagonoremontnykh predpriyatiy* [Modeling of technological processes with increasing the efficiency of car repair enterprises]. Transport business of Russia, 2019, no. 6, pp. 143–144.

13. Kuznetsov M. A., Raykov G. V. *Improving the efficiency of the wagon complex by optimizing its parameters of the maintenance and repair system*. Actual problems of the development of railway transport: materials of the All-Russian scientific and practical conference for the 75th anniversary of the postgraduate study Institute of Railway Transport: in 2 parts. Edited by A. B. Kosarev, G. V. Gogrichiani. Moscow, RAS, 2019, P. 2, pp. 209–213.

14. Kiryakin V. Yu., Novgorodtseva A. V. *Poligonnaya tekhnologiya formirovaniya prognoznykh variantov grafikov s ispol'zovaniem APK "EL'BRUS"* [Polygon technology for generating forecast options for graphs using the agro-industrial complex "ELBRUS"]. Byulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD" [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC "Russian Railways"], 2014, no. 1, pp. 16–21.

15. *"ISAVP RT" — novaya tekhnologiya gruzovykh perevozok* ["ISAVP RT" — a new technology for freight transportation]. Evraziya Vesti. [Eurasia. News], 2004, no. 1. URL: <https://www.eav.ru/publ1p.php?publit=2004-01a09> (retrieved on 15.04.2020) (in Russ.).

16. *Methodology for determining the required fleets of locomotives for the development of the projected volumes of freight and passenger traffic in the long term*. Approved by the Order of the JSC "Russian Railways" dated October 7, 2015 No. 2993r (in Russ.).

17. Nekrashevich V. I., Apatsev V. I. *Upravlenie ekspluatatsiey lokomotivov. Ucheb. posobie* [Management of the operation of locomotives. Tutorial]. Moscow, Moskovskiy gos. un-t putey soobshcheniya Publ., 2014, 340 p.

ABOUT THE AUTHORS

Mikhail I. MEKHEDOV,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director, Director of the Scientific Center "Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies" (SC "DMTE"), JSC "VNIIZHT"

Evgeniy A. SOTNIKOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, JSC "VNIIZHT"

Pavel S. KHOLODNYAK,

Head of Department, SC "DMTE", JSC "VNIIZHT"

Dmitriy A. KURSIN,

Cand. Sci. (Eng.), Chief Programmer, SC "DMTE", JSC "VNIIZHT"

Natal'ya V. KORNIEENKO,

Leading Technologist, SC "DMTE", JSC "VNIIZHT"

Received 22.10.2020

Accepted 06.11.2020

■ E-mail: Mekhedov.Mikhail@vniizht.ru (M. I. Mekhedov)

For citation: Mekhedov M. I., Sotnikov E. A., Kholodnyak P. S., Kursin D. A., Kornienko N. B. Condition optimization for organizing the operation of connected trains on an ongoing basis on the Trans-Siberian Railway of the Eastern operational range of the railway network // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (1): 4–12 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-1-4-12>.