

## Увеличение пропускной способности участка Слюдянка-1 – Улан-Удэ за счет построения оптимальной модели движения поездов

Ю.И. Белоголов✉

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉belogolov\_yi@irgups.ru

### Резюме

Разработка новых подходов к повышению пропускной способности на железнодорожном транспорте была и остается одной из основных задач, которой уделяется достаточно большое внимание. В современных условиях для усиления пропускной и провозной способностей актуальным является уплотнение графика движения, более полное использование имеющейся инфраструктуры и технических средств, применение современных интеллектуальных систем управления и других организационных и технических решений, направленных на переработку и формирование большего числа вагонопотоков и поездопотоков. В статье предлагается рассмотреть и смоделировать работу участка Слюдянка-1 – Улан-Удэ при внедрении систем интервального регулирования движения поездов, а также определяется потенциальность пропуска большего количества поездов по сравнению с существующей технологией. Для увеличения пропускной способности на участке Слюдянка-1 – Улан-Удэ в качестве такой системы рассматривается возможность применения АБТЦ-МШ. Моделирование работы участка заключается в разработке алгоритма и построении потоковых моделей, отражающих прибытие и отправление поездов по основным станциям участка, позволяющих выявить резервы времени в отправлении большего количества поездов. По результатам моделирования и расчетов производится построение ведомости поездопотоков участка, строится предлагаемый график движения поездов и рассчитываются его показатели. Итогом исследования является вывод о перспективе применения инновационных технологий в области интервального регулирования движения поездов на участке Слюдянка-1 – Улан-Удэ и даются практические рекомендации.

### Ключевые слова

системы интервального регулирования, потоковые модели, график движения поездов, АБТЦ-МШ, сокращение интервалов между поездами, участок Слюдянка-1 – Улан-Удэ

### Для цитирования

Белоголов Ю.И. Увеличение пропускной способности участка Слюдянка-1 – Улан-Удэ за счет построения оптимальной модели движения поездов / Ю.И. Белоголов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 1 (77). С. 94–105. DOI 10.26731/1813-9108.2023.1(77).94-105.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 22.02.2023 г.; поступила после рецензирования: 17.03.2023 г.; принята к публикации: 18.03.2023 г.

## Increasing the throughput capacity of the Slyudyanka-1 - Ulan-Ude section by building an optimal train traffic model

Yu.I. Belogolov✉

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

✉belogolov\_yi@irgups.ru

### Abstract

The development of new approaches to increasing the throughput in railway transport has been and remains one of the main tasks, which is receiving quite a lot of attention at the present time. In modern conditions, in order to strengthen the throughput and carrying capacity, it is important to tighten the traffic schedule, make fuller use of the existing infrastructure and technical means, use modern intelligent control systems and other organizational and technical solutions aimed at processing and forming a larger number of car traffic and train traffic. The article proposes to consider and simulate the operation of the Slyudyanka-1 – Ulan-Ude section during the implementation of interval train control systems and determines the possibility of passing a larger number of trains as compared to the existing technology. To increase the capacity on the section Slyudyanka-1 – Ulan-Ude, the possibility of using ABTC-MSh is considered as such a system. Modeling the work of the section consists in the development of an algorithm and the construction of flow models reflecting the arrival and departure of trains at the main stations of the section, which makes it possible to identify time reserves in the departure of a larger number of trains. Based on the results of modeling and calculations, a list of train flows of the section is formed, a proposed train schedule is built and its indicators are calculated. At the end of the article, a conclusion is made about the prospects for the application of innovative technologies in the field of interval control of train traffic on the Slyudyanka-1 – Ulan-Ude section and practical recommendations are given.

**Keywords**

interval control systems, flow models, train schedule, ABTTs-MSh, reduction of intervals between trains, section Slyudyanka-1 – Ulan-Ude

**For citation**

Belogolov Yu.I Uvelichenie propusknoi sposobnosti uchastka Slyudyanka-1 – Ulan-Ude za schet postroeniya optimal'noi modeli dvizheniya poezdov [Increasing the throughput capacity of the Slyudyanka-1 – Ulan-Ude section by building an optimal train traffic model]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 1 (77), pp. 94–105. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.1(77).94-105.

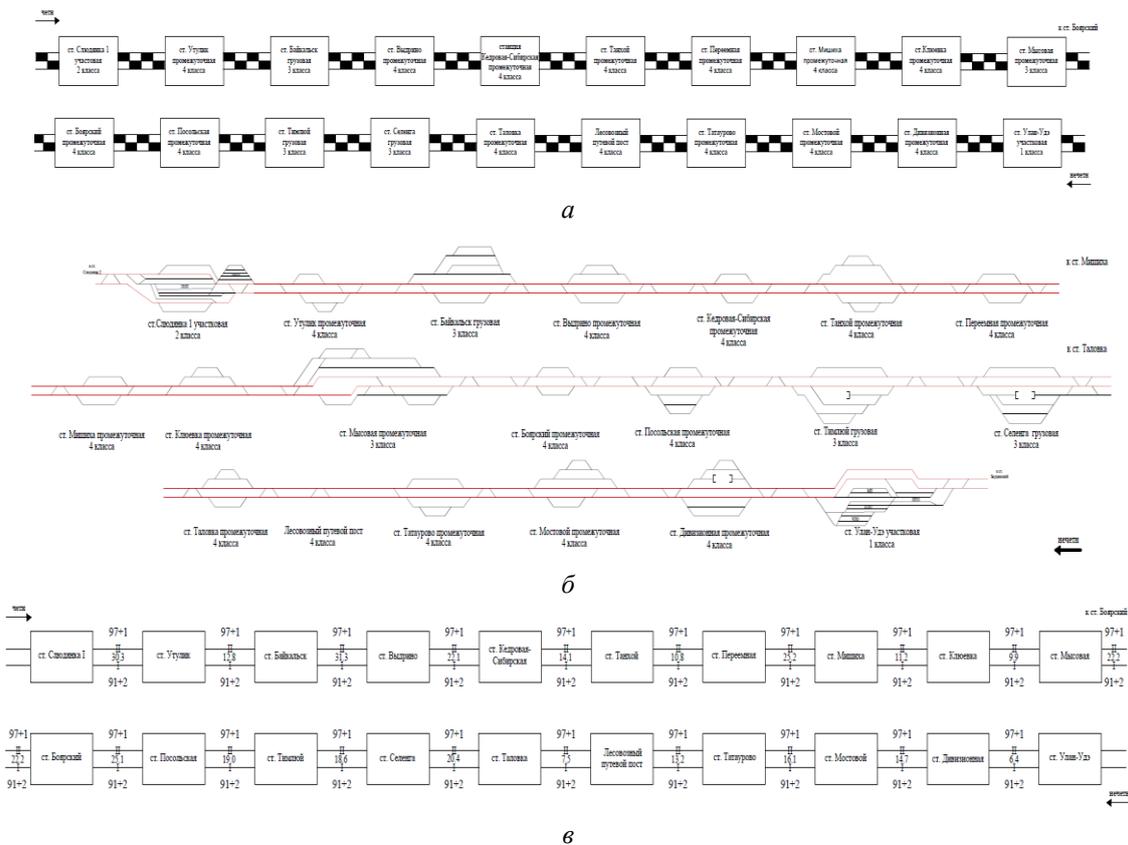
**Article Info**

Received: February 22, 2023; Received: March 17, 2023; Accepted: March 18, 2023.

**Введение**

Ежегодно возрастающие потребности [1] в пропуске большего количества поездов и объемов перевозимых грузов при существующем путевом развитии, тяговом подвижном составе и других инфраструктурных характеристик приводит к необходимости развития направления, связанного с сокращением и, как следствие, оптимизацией расстояния между движущимися поездами (интервала следования) [2]. Такое направление связано, прежде всего, с использованием современных

систем интервального регулирования движения поездов (СИРДП). В настоящее время проведение большая работа по тиражированию таких СИРДП, как автоблокировка с тональными рельсовыми цепями (АБТЦ) и различных ее модификаций, активно решаются задачи по определению координат движущихся объектов с использованием GPS-Глонасс, развивается и внедряется технология подвижных блок-участков и виртуальной сцепки, проводятся исследования в области перспективных разработок, например, СИРДП «Анаконда» с пере-



**Рис. 1.** Участок железной дороги Слюдянка 1 – Улан-Удэ:  
 а – схема участка; б – путевое развитие участка; в – пропускная способность перегонов  
**Fig. 1.** Railway section Slyudyanka 1 – Ulan-Ude:  
 a – plot diagram; b – track development of the section; c – throughput of hauls

дачей данных по цифровому радиоканалу, что подтверждает большой интерес к этому направлению. Научно-технический совет ОАО «РЖД» неоднократно подчеркивал, что развитие восточной части страны будет осуществляться не только за счет модернизации инфраструктуры, но и внедрения инновационных СИРДП [3]. В настоящее время существуют различные автоматизированные системы имитационного моделирования (например, AnyLogic), позволяющие провести качественный и количественный анализ работы транспортных объектов с использованием методов математического моделирования. При этом в компании ОАО «РЖД» разработана Интеллектуальная система управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ ТС), предназначенная для имитационного моделирования работы станций и участков, позволяющая выявлять «узкие места», проводить оценку инфраструктурного и технологического развития, осуществлять моделирование и т.д. Перед выполнением большого объема работ по моделированию и наладке модели в автоматизированной системе имитационного моделирования, важной задачей является проведение предварительной оценки и исследований с целью увеличения пропускной способности участков [4–6]. В качестве объекта такого исследования был выбран участок Слюдянка-1 – Улан-Удэ.

### Исходная потоковая модель участка Слюдянка-1 – Улан-Удэ

Участок Слюдянка 1 – Улан-Удэ (рис. 1) относится к третьему району управления. Протяженность составляет 330,9 км, перегоны участка оснащены четырехзначной автоблокировкой с тональными рельсовыми цепями, постоянно действующими устройствами двухсторонней автоблокировки (при движении в неправильном направлении по сигналам автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия).

На указанном участке располагаются две технические станции:

- ст. Слюдянка-1 по характеру своей деятельности относится к участковой станции, а по объему выполняемой работы является станцией второго класса.

- ст. Улан-Удэ является участковой, но в отличие от ст. Слюдянка-1, отнесена к первому классу.

Помимо технических на участке имеется 15 промежуточных станций, три из них находятся на диспетчерском управлении – это ст. Мишиха, Ключевка, Боярский, а также 3 грузовые – Байкальск, Тимлюй, Селенга.

Для рассмотрения возможности применения современных СИРДП необходимо провести предварительный анализ участка, определить «узкие места» и смоделировать его работу [7, 8].

Следует также отметить, что рассмотрение вопросов применения современных СИРДП, например, АБТЦ-МШ с централизованным размещением аппаратуры в монтажных шкафах на участке Слюдянка 1 – Улан-Удэ, обусловлен наличием этой же системы на прилегающем участке Большой Луг – Слюдянка-2, введенной в эксплуатацию в 2021 г., поэтому участок Слюдянка-1 – Улан-Удэ станет логическим продолжением.

Для предварительной оценки поездопотоков рассматриваемого участка необходимо построить исходную потоковую модель. При ее построении (рис. 2) большая часть промежуточных станций, а также станций, на которых поезда не имеют стоянок, не учитывались.

### Алгоритм расчета продвижения поездопотоков по участку Слюдянка-1 – Улан-Удэ

С целью оптимизации прибытия, отправления и продвижения поездопотоков для рассматриваемого участка был разработан алгоритм [9–11], представленный ниже.

В алгоритме используются следующие обозначения:  $S$  – исток графа;  $A$  – сток графа;  $i, j, k$  – вершины долей графа;  $T$  – время на дугах между долями графа;  $T_{Si}$  – прогнозируемое время прибытия поездов на станцию;  $T_{kA}$  – прогнозируемое время отправления поезда со станции;  $t_{тех}$  – технологическое время обработки поезда на станции.

Алгоритм выполнения расчетов приводит к упорядочению потока прибытия поездов на станцию с тем, чтобы обеспечить максимально возможный размер движения поездов, и определяет требуемый для этого график их поступления и отправления. Оптимальному графику соответствует нахождение «весов» вершин второй и третьей доли графа.

Для оценки эффективности пропуска грузовых поездов на участке Слюдянка-1 – Улан-Удэ

при внедрении системы интервального регулирования, например, АБТЦ-МШ, необходимо:

– сопоставить прогнозные время прибытия ( $T_i$ ) с возможным ( $T_j$ ) –

$$T_i > T_j; T_i = T_j; T_i < T_j;$$

– сопоставить временные интервалы прибытия  $I_i$  и отправления  $I_j$  для граничных станций участка (при условии  $I_{\text{опт}} = 10$  мин.) –

$$I_i, I_k > I_{\text{опт}}; I_i, I_k = I_{\text{опт}}; I_i, I_k < I_{\text{опт}}.$$

Примем следующие допущения:

$$I_{\min} = 5 \text{ мин.}; I_{\text{опт}} = 10 \text{ мин.}; \Delta I_{\min} \{ \Delta I_i; \Delta I_k \}; T_{Si}, T_{kA}, t_{\text{тех}} = \text{const.}$$

Ниже приводится алгоритм выработки требований к поступлению и отпавлению поездов для станций участка:

1. Положим, что  $i = k = 1, j = 0$ .

2. Если  $\Delta I > I_{\text{опт}}$ , то идем к третьему пункту алгоритма, если  $\Delta I = I_{\text{опт}}$ , то к четвертому пункту, если  $\Delta I < I_{\text{опт}}$ , то к пятому пункту алгоритма.

3. Вычислим  $\Delta I_{Si} = T_{Si} - T_{Si+1}$ ;  $\Delta I_{kA} = T_{kA} - T_{kA+1}$ ;  $j' = j + n$ ,  $n = \frac{\Delta I}{I_{\min}} - 1$ ;  $T_{\min(i,k)j} = T_{\min(Si,kA)} - I_{\min}$ ;  $T_{\max(i,k)j} = T_{\min(i,k)j} -$

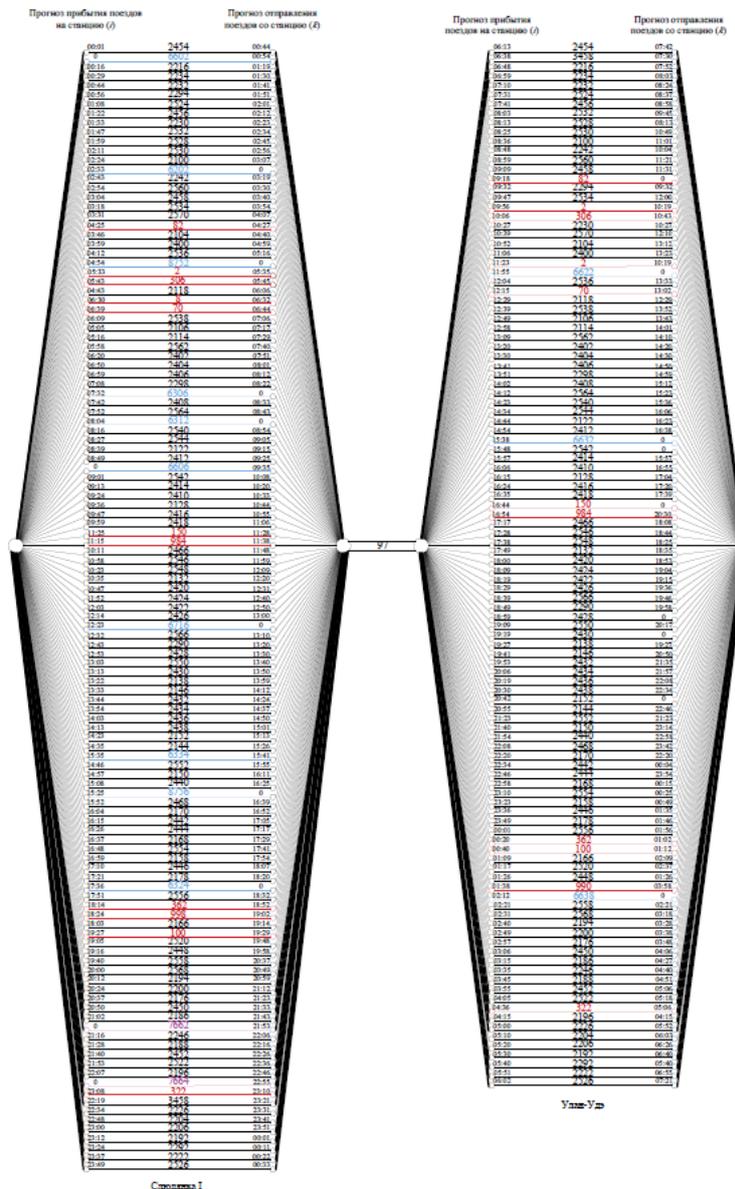


Рис. 2. Исходная потоковая модель, отражающая прибытие и отправление поездов на станции Слюдянка-1 и Улан-Удэ

Fig. 2. Initial flow model reflecting the arrival and departure of trains at Slyudyanka-1 and Ulan-Ude stations

$t_{\text{техн}}$ ,  $i = i + 1$ ,  $k = k + 1$ . Если  $\Delta I_{ij}, \Delta I_{kj} > I_{\text{опт}}$ , то повторяем алгоритм по п. 3 для новых  $T_{ij}$  и  $T_{kj}$ , при этом  $\Delta I_{ij} = T_{Si} - T_{ij}$ ;  $\Delta I_{jk} = T_{kA} - T_{jk}$ , иначе возвращаемся к п. 2. Если  $i > i_{\text{max}}$  или  $k > k_{\text{max}}$ , то переходим к п. 6, иначе – к п. 2.

4. Вычислим  $\Delta I_{Si} = T_{Si} - T_{Si+1}$ ;  $\Delta I_{kA} = T_{kA} - T_{kA+1}$ ;  $j' = j + 1$ ,  $T_{\min(i,k)j} = T_{\min(Si,kA)} - I_{\min}$ ;  $T_{\max(i,k)j} = T_{\min(i,k)j} - t_{\text{техн}}$ ,  $i = i + 1$ ,  $k = k + 1$ . Если  $i > i_{\text{max}}$  или  $k > k_{\text{max}}$ , то переходим к п. 6, иначе – к п. 2.

5. Вычислим  $\Delta I_{Si} = T_{Si} - T_{Si+1}$ ;  $\Delta I_{kA} = T_{kA} - T_{kA+1}$ ;  $j' = j = i$ ,  $T_{\min(i,k)j} = T_{\min(Si,kA)}$ ;  $T_{\max(i,k)j} = T_{\min(i,k)j} - t_{\text{техн}}$ ,  $i = i + 1$ ,  $k = k + 1$ . Если  $i > i_{\text{max}}$  или  $k > k_{\text{max}}$ , то переходим к п. 6, иначе – к п. 2.

6. Составляем график прибытия и отправления поездов на станцию для всех значений  $i, j, k$ .

Рассмотрим пример реализации алгоритма для станции Слюдянка-1.

1.1. Положим  $i = k = 2, j = 2$ .

Исходные данные:  $I_{\min} = 5$  мин.;  $I_{\text{опт}} = 10$  мин.;  $T_{Si=2} = 00:16$  ч;  $T_{k=2A} = 01:19$  ч;  $T_{Si=3} = 00:29$  ч;  $T_{k=3A} = 01:30$  ч;  $t_{\text{техн}}^2 = 01:03$  ч.

Переходим к п. 2 алгоритма.

1.2. Вычислим  $\Delta I_{Si=2} = 00:29 - 00:16 = 00:13$  ч;  $\Delta I_{k=2A} = 01:30 - 01:19 = 00:11$  ч;

$\Delta I = \min(00:13; 00:11) = 00:11$  ч; так как  $\Delta I > I_{\text{опт}}$  – переходим к п. 3.

1.3. Вычислим  $n = 11/5 - 1 \approx 1$ ;  $j' = 2 + 1 = 3$ ;  $T_{k=2j=3} = 01:19 - 00:05 = 01:14$ ;  $T_{i=2j=3} = 01:14 - 01:03 = 00:11$ ,  $i = 2 + 1 = 3$ . Если  $i > i_{\text{max}}$ , то переходим к п. 6 алгоритма, иначе – к п. 2.

Для начала определим значения  $i, j, k$ . Запишем первый пункт алгоритма.

2.1. Положим, что  $i = k = 3, j = 3$ .

Исходные данные для последующих вычислений, согласно построенным потоковым моделям, будут следующие:  $I_{\min} = 5$  мин.;  $I_{\text{опт}} = 10$  мин.;  $T_{Si=3} = 00:29$  ч;  $T_{k=3A} = 01:30$  ч;  $T_{Si=4} = 00:44$  ч;  $T_{k=4A} = 01:41$  ч;  $t_{\text{техн}}^3 = 01:01$  ч.

2.2. Вычислим  $\Delta I_{Si=3} = 00:44 - 00:29 = 00:15$  ч;  $\Delta I_{k=3A} = 01:41 - 01:30 = 00:11$  ч;  $\Delta I = \min(00:15; 00:11) = 00:11$  ч; так как  $\Delta I > I_{\text{опт}}$  – переходим к п. 3 алгоритма.

2.3. Вычислим  $n = 11/5 \approx 2$ ;  $j' = 3 + 2 = 5$ ;  $T_{k=3j=5} = 01:30 - 00:05 = 01:25$ ;  $T_{i=3j=5} = 01:25 - 01:01 = 00:24$ ,  $i = 3 + 1 = 4$ . Если  $i > i_{\text{max}}$ , то переходим к п. 6 алгоритма, иначе – к п. 2.

Далее аналогично, согласно разработанному алгоритму.

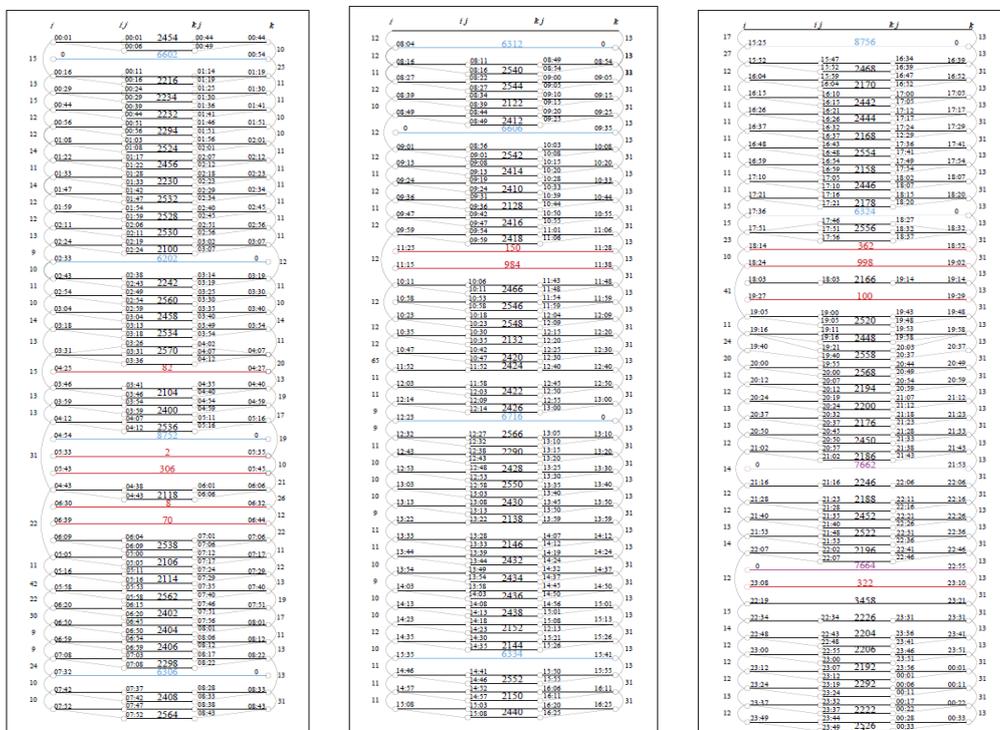


Рис. 3. Потоковая модель прибытия и отправления поездов на ст. Слюдянка-1

Fig. 3. Flow model of arrival and departure of trains at Slyudyanka-1 station

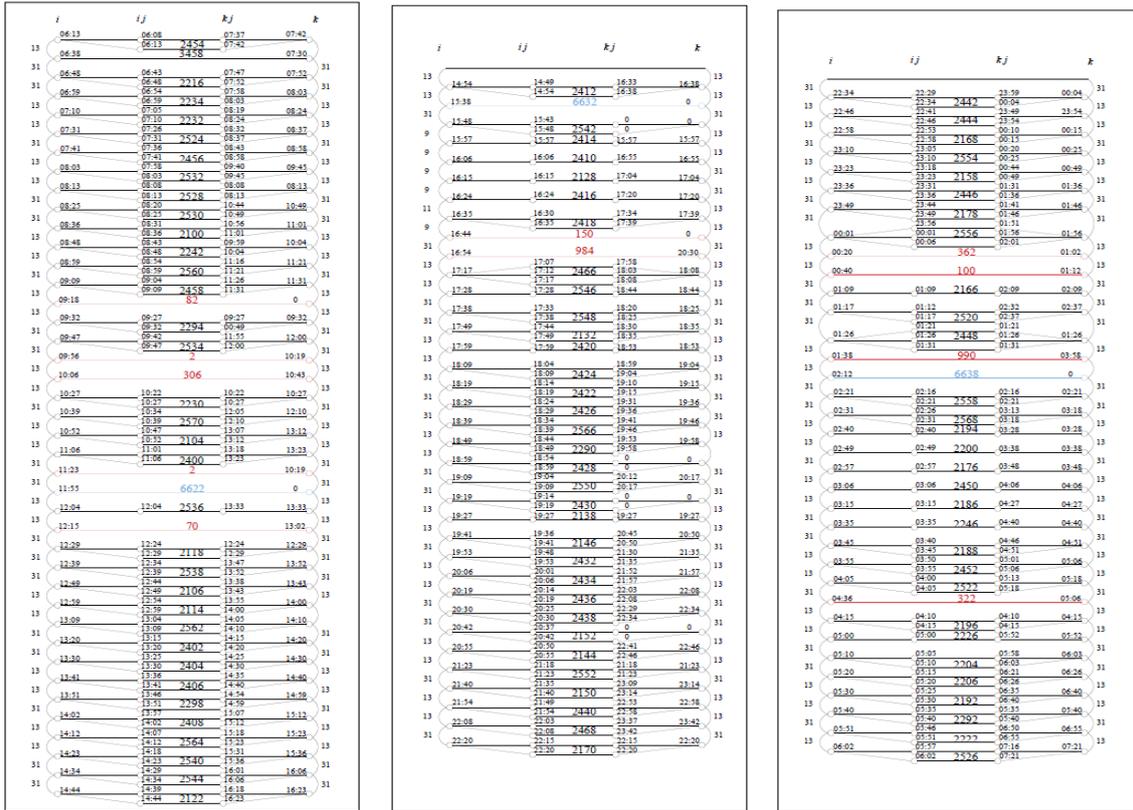


Рис. 4. Поточковая модель прибытия и отправления поездов на станции Улан-Удэ

Fig. 4. Flow model of arrival and departure of trains at Ulan-Ude station

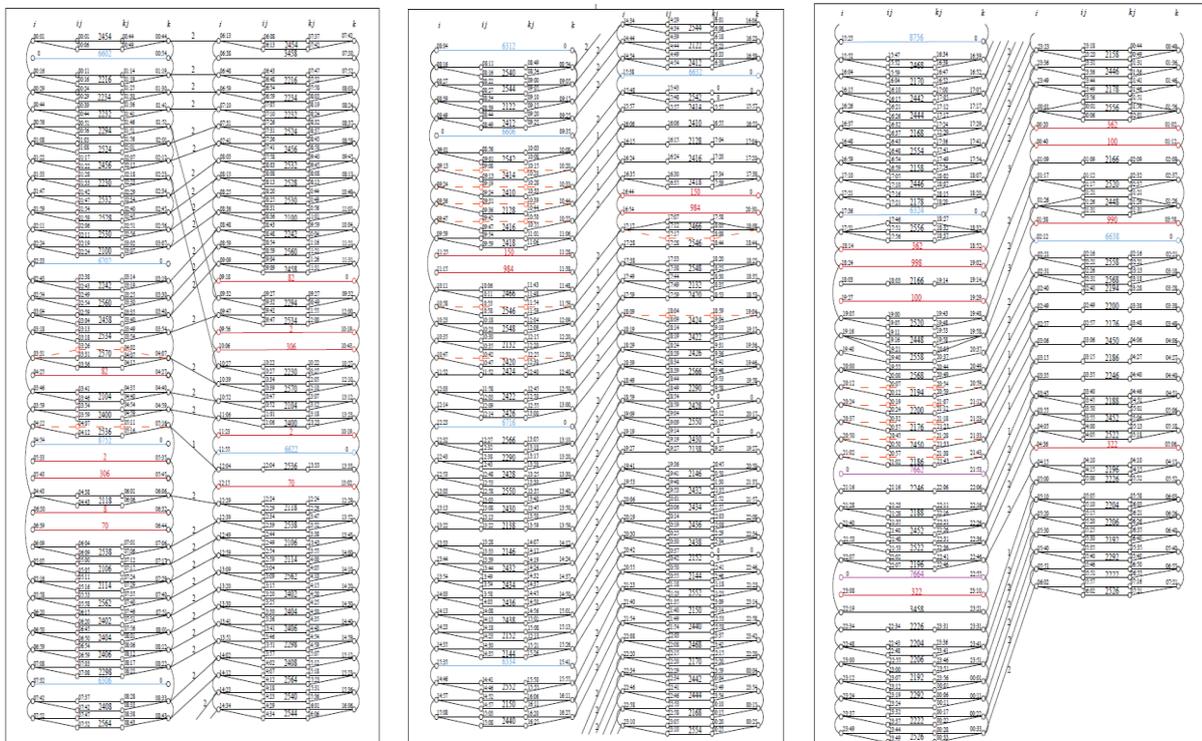


Рис. 5. Узвязка потоковых моделей по прибытию и отправлению поездов на участке Слюдянка-1 – Улан-Удэ

Fig. 5. Linking flow models of the arrival and departure of trains on the section Slyudyanka-1 - Ulan-Ude

**Таблица 1.** Входная и выходная информация для оперативного планирования работы станций  
**Table 1.** Input and output information for operational planning of stations

Существующее моделирование Existing modeling							Предлагаемое моделирование Proposed modeling						
Слюдянка-1			Улан-Удэ				Слюдянка-1			Улан-Удэ			
П/п	№	$S_i$	$k_A$	№	$S_i$	$k_A$	П/п	№	$ij$	$k_j$	№	$ij$	$k_j$
1	2454	00:01	00:44	2454	06:13	07:42	1	2454	00:01	00:44		06:08	07:32
2	2216	00:16	01:19	2216	06:48	07:52	2	Поезд	00:06	00:49	2454	06:13	07:42
3	2234	00:29	01:30	2234	06:59	08:03	3	Поезд	00:11	01:14	–	06:43	07:47
4	2232	00:44	01:41	2232	07:10	08:24	4	2216	00:16	01:19	2216	06:48	07:52
5	2294	00:56	01:51	2524	07:31	08:37	5	Поезд	00:24	01:25	–	06:54	07:58
6	2524	01:08	02:01	2456	07:41	08:58	6	2234	00:29	01:30	2234	06:59	08:03
7	2456	01:22	02:12	2532	08:03	09:45	7	Поезд	00:39	01:36	–	07:05	08:19
8	2230	01:33	02:23	2528	08:13	08:13	8	2232	00:44	01:41	2232	07:10	08:24
9	2532	01:47	02:34	2530	08:25	10:49	9	Поезд	00:51	01:46	–	07:26	08:32
10	2528	01:59	02:45	2100	08:36	11:01	10	2294	00:56	01:51	2524	07:31	08:37
11	2530	02:11	02:56	2242	08:48	10:04	11	Поезд	01:03	01:56	–	07:36	08:43
12	2100	02:24	03:07	2560	08:59	11:21	12	2524	01:08	02:01	2456	07:41	08:58
13	2242	02:43	03:19	2458	09:09	11:31	13	Поезд	01:17	02:07	–	07:58	09:40
14	2560	02:54	03:30	2294	09:32	09:32	14	2456	01:22	02:12	2532	08:03	09:45
15	2458	03:04	03:40	2534	09:47	12:00	15	Поезд	01:28	02:18	–	08:08	08:08
16	2534	03:18	03:54	2230	10:27	10:27	16	2230	01:33	02:23	2528	08:13	08:13
17	2570	03:31	04:07	2570	10:39	12:10	17	Поезд	01:42	02:29	–	08:20	10:44
18	2104	03:46	04:40	2104	10:52	13:12	18	2532	01:47	02:34	2530	08:25	10:49
19	2400	03:59	04:59	2400	11:06	13:23	19	Поезд	01:54	02:40	–	08:31	10:56
20	2536	04:12	05:16	2536	12:04	13:33	20	2528	01:59	02:45	2100	08:36	11:01
21	2118	04:43	06:06	2118	12:29	12:29	21	Поезд	02:06	02:51	–	08:43	09:59
22	2538	06:09	07:06	2538	12:39	13:52	22	2530	02:11	02:56	2242	08:48	10:04
23	2106	05:05	07:17	2106	12:49	13:43	23	Поезд	02:19	03:02	–	08:54	11:16
24	2114	05:16	07:29	2114	12:59	14:00	24	2100	02:24	03:07	2560	08:59	11:21
25	2562	05:58	07:40	2562	13:09	14:10	25	Поезд	02:38	03:14	–	09:04	11:26
26	2402	06:20	07:51	2402	13:20	14:20	26	2242	02:43	03:19	2458	09:09	11:31
27	2404	06:50	08:01	2404	13:30	14:30	27	Поезд	02:49	03:25	–	09:27	09:27
28	2406	06:59	08:12	2406	13:41	14:40	28	2560	02:54	03:30	2294	09:32	09:32
29	2298	07:08	08:22	2298	13:51	14:59	29	Поезд	02:59	03:35	–	09:42	11:55
30	2408	07:42	08:33	2408	14:02	15:12	30	2458	03:04	03:40	2534	09:47	12:00
31	2564	07:52	08:43	2564	14:12	15:23	31	Поезд	03:13	03:49	–	10:22	10:22
32	2540	08:16	08:54	2540	14:23	15:36	32	2534	03:18	03:54	2230	10:27	10:27
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Далее аналогично, согласно, алгоритма Further similarly, according to the algorithm

На основании записанного алгоритма, строятся потоковые модели (рис. 3, 4), производится их увязка друг с другом (рис. 5), составляется сводная таблица (табл. 1) для оперативного планирования работы станций и производится построение графика движения поездов.

#### Планирование работы станций и построение графика движения поездов

Результаты, полученные при построении и оптимизации потоковых моделей на рис. 3–5 сведен в табл. 1 (фрагмент).

Предлагаемый график движения поездов, построенный на основании алгоритма выработки требований к поступлению и отправлению поездов на станциях при внедрении СИРДП, например, АБТЦ-МШ, представлен на рис. 6. Межпоездной интервал для поездов сокращен с 10 до 5 мин.

Следует отметить, что при разработке представленного на рис. 1 графика движения [12] не учитывались действующие ограничения, профиль пути, тяговые возможности участка,

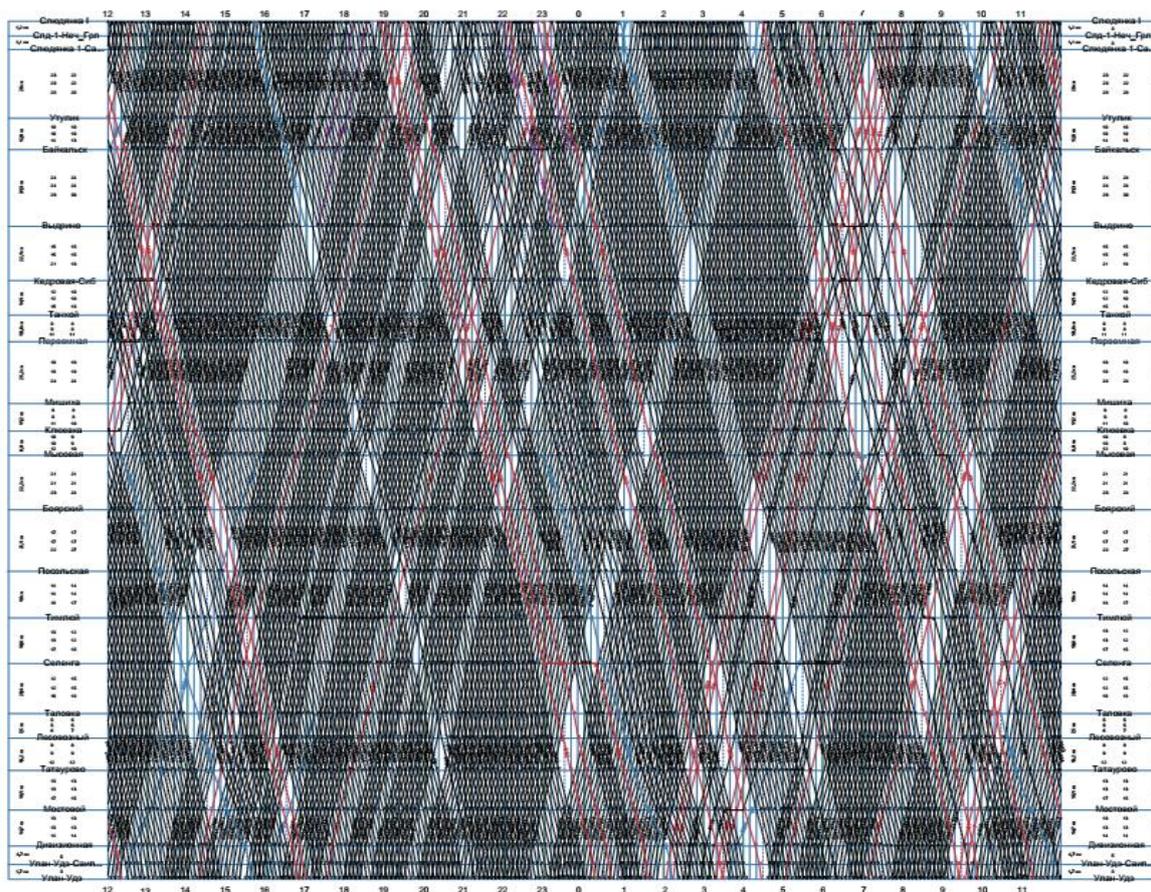


Рис. 6. График движения поездов после модернизации участка Слюдянка-1 – Улан-Удэ

Fig. 6. Train schedule after the modernization of the section Slyudyanka-1 – Ulan-Ude

основная цель – анализ изменений в работе участка от сокращения межпоездного интервала.

На основании графика движения определены показатели грузового движения (табл. 2), отражающие объем эксплуатационной работы, ее качество, а также использования локомотивного парка.

Проанализировав работу участка, можно сделать вывод, что при росте поездопотока есть вероятность затрудненного движения на технических станциях. Для предотвращения этого следует:

- сократить простой поездов под обработкой для беспрепятственного пропуска поездов;
- у поездов без обработки, но со сменой локомотива, параллельно осуществлять технологические операции на прием и сдачу локомотива под поездом;
- удлинить приемо-отправочные пути на ст. Переемная и Селенга;
- рассмотреть увеличение скорости движения поездов по путям и стрелочным перево-

дам ст. Слюдянка-1, Улан-Удэ, модернизацию устройств сигнализации, централизации и блокировки для сокращения времени следования поездов по станциям;

– пересмотреть технологию работы локомотивных эксплуатационных и сервисных депо для снижения времени проведения технологических операций.

Эти мероприятия целесообразно провести до планируемого роста пропускной способности с целью предотвращения затруднений в работе участка в целом.

Внедрение более современных СИРДП [13–17], например, АБТЦ-МШ требует технического перевооружения устройств инфраструктуры:

- расположить модули концентрации электрической централизации (ЭЦ-ТМ) [18] с оборудованием АБ на перегонах: Слюдянка-1 – Утулик, Байкальск – Выдрино, Переемная – Мишиха и Боярский – Посольская;

**Таблица 2.** Показатели эксплуатационной работы участка  
**Table 2.** Indicators of the operational work of the site

Показатели Indicators	Единицы измерения Units	До внедрения АБТЦ-МШ Before implementation of ABTTs-MSh	После внедрения АБТЦ-МШ After implementation of ABTTs-MSh
Поездо-часы Train-hours	п-час train-hour	1 083,02	1 838,42
Количество поездов четного направления: – грузовые – пассажирские – пригородные – сборные Number of even direction trains: – cargo – passenger – suburban – prefabricated	поезд train	97 11 8 1	170 11 8 1
Количество поездов нечетного направления: – грузовые – пассажирские – пригородные – сборные Number of odd direction trains: – cargo – passenger – suburban – prefabricated	поезд train	91 10 8 2	166 10 8 2
Техническая скорость Technical speed	км/ч km/h	61	61
Участковая скорость Section speed	км/ч km/h	59	61
Коэффициент участковой скорости Section speed coefficient	-	0,96	0,99
Оборот локомотива Locomotive turnover	час hour	12,05	11,68
Потребное количество поездных локомотивов Required number of train locomotives	лок. лос.	97	165
Среднесуточный пробег локомотива Average daily locomotive mileage	км km	658,4	679,85
Производительность локомотива Locomotive performance	тыс. т-км- брутто thousand t- km-gross	4 148	4 283,1

– для корректной работы АБТЦ-МШ на станциях необходимо наличие МПЦ-ЭЛ, предусмотреть увязку этих систем;

– для корректной работы АБТЦ-МШ на станциях необходимо наличие МПЦ-ЭЛ, предусмотреть увязку этих систем;

– спроектировать главные пути на станциях и перегонах как независимые однопутные

двухсторонние линии;

– разработать комплекс мероприятий по повышению уровня киберзащитности устройств управления и контроля;

– запроектировать микропроцессорную систему автоматической локомотивной сигнализации с подвижным блок-участком на базе аппаратуры АБТЦ-МШ по каждому пути пере-

гона участка, а также кодирование рельсовых цепей автоматической локомотивной сигнализации непрерывного действия 25 Гц и АЛС-ЕН;

– особое внимание уделить модернизации и усилению систем энергоснабжения, разработать мероприятия по техническому перевооружению существующих тяговых подстанций, замене оборудования, рассмотреть варианты по целесообразности строительства дополнительных комплексов тяговых подстанций.

После разработки алгоритма выработки требований к прибытию и отправлению поездов была построена потоковая модель оптимального прибытия и отправления поездов на участок, учитывающая входной и выходной поток поез-

дов на граничные станции для минимизации негативного влияния на соседние участки.

### Заключение

На основании моделирования был построен оптимальный график движения поездов, по которому можно сделать вывод, что внедрение системы АБТЦ-МШ обеспечит сокращение интервалов следования поездов по перегонам и станциям до 5 мин. [19]. Это позволит повысить пропускную способность до 50 %. Однако такое увеличение пропускной способности возможно при «идеализированных» условиях работы участка.

### Список литературы

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 19.03.2019 № 466 (ред. 13.10.2022). URL : <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201903210017> (Дата обращения 20.01.2023).
2. О вводе в действие типового технологического процесса управления местной работой : распоряжение ОАО «РЖД» от 15.04.2016 г. № 684р (ред. 25.07.2022). Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локальной сети.
3. Прокопьева Е.С., Фомин С.А., Панин В.В. Определение станционных и межпоездных интервалов при интервальном регулировании движения поездов // Железнодорожный транспорт. 2017. №7. С. 20–23.
4. ОАО «РЖД» продолжит внедрение технологий интервального регулирования // АВП Технология : сайт. URL : <https://avpt.ru/news/oa0-rzhd-prodolzhit-vnedrenie-tekhnologiy-intervalnogo-regulirovaniya/> (Дата обращения 16.02.2023).
5. Розенберг Е.Н., Аношкин В.В. Перспективы роста пропускной способности участка // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3 С. 4–7.
6. Белькова Ю.Д., Симоченко А.С., Белоголов Ю.И. Современные системы интервального регулирования движения поездов // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 97–102.
7. Кондратьева Л.А. Системы регулирования движения на железнодорожном транспорте. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2016. 322 с.
8. Белоголов Ю.И., Стецова Ю.М., Оленевич А.А. Использование методов математического моделирования при управлении транспортными процессами на железной дороге // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы девятой Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2018. Т.1. С. 145–148.
9. Белькова Ю.Д., Белоголов Ю.И. Построение графика движения поездов для участка Слюдянка I – Улан-Удэ при внедрении АБТЦ-МШ // Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 109–117.
10. Development of the performance control algorithm of the blower motors of electric locomotives for various operating modes / A.R. Akhmetshin, K.V. Suslov, N.P. Astashkov et al. // Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Saint-Petersburg, 2020. DOI 10.1088/1757-899X/1111/1/012001.
11. Левин Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом. М. : Маршрут, 2005. 760 с.
12. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой. Ч. II. График движения поездов и пропускная способность. М. : РГОТУПС, 2002. 171 с.
13. Макаров Н.М. Анализ систем интервального регулирования // Труды 79-ой студ. науч.-практ. конф. РГУПС. Воронеж, 2020. Т. 3. С. 39–41.
14. Долгий А.И. Концептуальный подход к построению современной платформы управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД» // Труды АО «НИИАС». 2021. Т. 1. Вып. 11. С. 9–31.
15. Ратобильская Д.В. Пути повышения пропускной способности участков железнодорожной сети на основе имитационного моделирования // Математические машины и системы. 2010. № 2. С. 116–121.
16. Румянцев С.В. Технические средства интервального регулирования // Локомотив. 2019. № 5. С. 39–42.
17. Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (в 2 ч.) / Ю.Г. Боровков, Д.В. Шалягин, А.В. Горелик и др. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2012.
18. Никитин Д.А. Повышение информативности системы интервального регулирования движения поездов АЛС-ЕН путём использования модульно взвешенного кода с суммированием // Автоматика на транспорте. 2017. Т. 3. № 4. С. 526–545.

19. Оленевич В.А., Власова Н.В. Оптимизация работы железнодорожных станций Восточного полигона в условиях внедрения современных систем организации движения поездов // Управление эксплуатационной работой на транспорте : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2022. С. 103–108.

### References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 19.03.2019 № 466 (red. 13.10.2022) «Dolgosrochnaya programma razvitiya OAO «RZHD» do 2025 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation. Federation dated March 19, 2019 No 466 (ed. October 13, 2022) «Long-term development program of JSC «Russian Railways» until 2025»]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201903210017> (Accessed January 20, 2023).
2. Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 15.04.2016 g. № 684r (red. 25.07.2022) «O vvode v deistvie tipovogo tekhnologicheskogo protsesssa upravleniya mestnoi rabotoi» [Order of JSC «Russian Railways» dated April 15, 2016 No 684r (ed. July 25, 2022) «On the commissioning of a standard technological process for managing local work»].
3. Prokop'eva E.S., Fomin S.A., Panin V.V. Opredelenie stantsionnykh i mezhpoezdnykh intervalov pri interval'nom regulirovanii dvizheniya poezdov [Determination of station and inter-train intervals during interval regulation of train traffic]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2017, no. 7, pp. 20–23.
4. OAO «RZHD» prodolzhit vnedrenie tekhnologii interval'nogo regulirovaniya (Elektronnyi resurs) [JSC «Russian Railways» will continue to introduce interval control technologies (Electronic resource)]. Available at: <https://avpt.ru/news/oao-rzhd-prodolzhit-vnedrenie-tekhnologiy-intervalnogo-regulirovaniya/> (Accessed February 16, 2023).
5. Rozenberg E.N., Anoshkin V.V. Perspektivy rosta propusknoi sposobnosti uchastka [Prospects for the growth of the site's capacity]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2020, no. 3, pp. 4–7.
6. Bel'kova Yu.D., Simochenko A.S., Belogolov Yu.I. Sovremennye sistemy interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov [Modern systems of interval regulation of train traffic]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2021, no. 2 (12), pp. 97–102.
7. Kondrat'eva L.A. Sistemy regulirovaniya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte [Railway traffic control systems]. Moscow: UMTs ZhDT., 2016. 322 p.
8. Belogolov Yu.I., Stetsova Yu.M., Olentsevich A.A. Ispol'zovanie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri upravlenii transportnymi protsessami na zheleznoi doroge [The use of mathematical modeling methods in the management of transport processes on the railway]. *Materialy Devyatoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the 9th International Scientific-Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2018, vol. 1, pp. 145–148.
9. Bel'kova Yu.D., Belogolov Yu.I. Postroenie grafika dvizheniya poezdov dlya uchastka Slyudyanka I – Ulan-Ude pri vnedrenii ABTTS-MSH [Construction of a train schedule for the Slyudyanka I – Ulan-Ude section with the introduction of the ABTC-MS]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2021, no. 3 (13), pp. 109–117.
10. Akhmetshin A.R., Suslov K.V., Astashkov N.P., Olentsevich V.A., Shtaiger M.G., Karlina A.I. Development of the performance control algorithm of the blower motors of electric locomotives for various operating modes. *Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020) : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Saint-Petersburg, 2020. DOI 10.1088/1757-899X/1111/1/012001.
11. Levin D.Yu. Dispetcherskie tsentry i tekhnologiya upravleniya perevozochnym protsessom [Dispatch centers and transportation process management technology]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 760 p.
12. Abramov A.A. Upravlenie ekspluatatsionnoi rabotoi. Ch. II. Grafik dvizheniya poezdov i propusknaya sposobnost' [Operational work management. Part II. Train schedule and capacity]. Moscow: RGOTUPS Publ., 2002. 171 p.
13. Makarov N.M. Analiz sistem interval'nogo regulirovaniya [Analysis of interval control systems]. *Trudy 79-i mezhdunarodnoi studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii RGUPS* [Proceedings of the 79th Student Scientific-Practical Conference of Rostov State Transport University]. Voronezh, 2020, vol. 3, pp. 39–41.
14. Dolgii A.I. Kontseptual'nyi podkhod k postroeniyu sovremennoi platformy upravleniya perevozochnym protsessom v OAO «RZHD» [Conceptual approach to the construction of a modern transportation process management platform in JSC «Russian Railways»]. *Trudy AO «NILAS»* [Proceedings of JSC «Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication in Railway Transport»], 2021, vol. 1, no. 11, pp. 9–31.
15. Ratobyl'skaya D.V. Puti povysheniya propusknoi sposobnosti uchastkov zheleznodorozhnoi seti na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Ways to increase the capacity of sections of the railway network based on simulation modeling]. *Matematicheskie mashiny i sistemy* [Mathematical machines and systems], 2010, no. 2, pp. 116–121.
16. Romyantsev S.V. Tekhnicheskie sredstva interval'nogo regulirovaniya [Technical means of interval regulation]. *Lokomotiv* [Locomotive], 2019, no. 5, pp. 39–42.
17. Borovkov Yu.G., Shalyagin D.V., Gorelik A.V., Mitrokhin V.E., Nevarov P.A., Trebina E.G., Chernousova V.S., Bychkov E.D., Batrakov S.A., Kovalenko O.N., Kuz'menko G.A. Sistemy zheleznodorozhnoi avtomatiki, telemekhaniki i svyazi (v 2 ch.) [Railway automation, telemechanics and communication systems (in 2 parts)]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2012.
18. Nikitin D.A. Povyshenie informativnosti sistemy interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poezdov ALS-EN putem ispol'zovaniya modul'no vzveshennogo koda s summirovaniem [Increasing the informativeness of the ALS-EN train interval control system by using a modularly weighted code with summation]. *Avtomatika na transporte* [Automation in transport], 2017, vol. 3, no. 4, pp. 526–545.
19. Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Optimizatsiya raboty zheleznodorozhnykh stantsii vostochnogo poligona v usloviyakh vnedreniya sovremennykh sistem organizatsii dvizheniya poezdov [Optimization of the operation of the railway stations of the Eastern Polygon in the context of the introduction of modern systems for organizing train traffic]. *Sbornik trudov Mezhdunarod-*

*noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Upravlenie ekspluatatsionnoi rabotoi na transporte»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Management of operational work in transport »]. Saint-Petersburg, 2022, pp. 103–108.

**Информация об авторах**

**Белоголов Юрий Игоревич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: belogolov\_yi@irgups.ru.

**Information about the authors**

**Yurii I. Belogolov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operational Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: belogolov\_yi@irgups.ru.