

УДК 656.073

ИССЛЕДОВАНИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКОГО СПОСОБА РЕАЛИЗАЦИИ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

А.А. Светашев, А.У. Солиев

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Ташкент, Узбекистан)

Целью данной статьи является обоснование применения гибкого способа реализации графика движения поездов на сортировочных станциях и характеризующих его параметров, а также зависимостей, определяющих эти параметры и затраты вагоно-часов на накопление вагонов. Приведен детальный анализ процесса накопления вагонов на состав в сортировочном парке станции при гибком способе реализации графика. Предложены формулы для определения среднесуточных затрат вагоно-часов на накопление и параметра накопления составов. Показан расчет и определены среднестатистические значения исследуемых величин. Практическая значимость исследования заключается в детальном рассмотрении процесса накопления вагонов с величиной отклонения от максимальной нормы состав в меньшую сторону и его влияние на затраты вагоно-часов на накопление вагонов.

Ключевые слова: параметр накопления вагонов, средняя величина остатка, гибкий способ реализации графика движения поездов, затраты вагоно-часов, величина отклонения, гибкая норма состава, сокращение простоя вагонов.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-105-112

Введение.

Работники сортировочных станций ведут постоянную работу по решению задачи снижения простоя вагонов, в том числе, простоя под накоплением. Однако на этот аспект повлиять достаточно трудно вследствие случайного подхода групп вагонов и случайного их количества. При накоплении составов одного назначения строго до нормы между ними, как правило, образуется остаток вагонов, который увеличивает суточные затраты вагоно-часов на накопление. Влияние остатка на эти затраты рассмотрено в [1], где установлено, что допущение некоторого отклонения от максимальной нормы в меньшую сторону, т.е. задание некоторого диапазона в пределах минимальной и максимальной допустимой величины состава, ведет к существенному снижению остатка, а значит и к уменьшению затрат на накопление вагонов. Поэтому представляет интерес дальнейшее рассмотрение вопроса, позволяющее определить затраты вагоно-часов на накопление составов для разных значений величины отклонения состава формируемых поездов от максимально допустимой величины состава.

1. Анализ вопроса применения гибкого способа реализации графика движения поездов.

Анализ составообразования на сортировочных станциях показал, что на железных дорогах стран СНГ имеют место различные варианты составообразования. Один из них заключается в формировании поездов при

гибком способе реализации графика движения поездов - гибкий график при гибкой норме.

В основе данной технологии лежит допустимое отклонение от максимальной нормы состава в меньшую сторону. При этом устанавливаются максимальный и минимальный пределы величины формируемых составов. Формировать поезда разрешается в тех случаях, когда число накопленных вагонов находится в пределах диапазона от m_{\max} до m_{\min} , что, в свою очередь, приведёт к снижению затрат вагоно-часов на накопление состава. Но необходимо учитывать среднюю величину остатка вагонов m_o для выявления их истинных значений.

Это может оказаться экономически целесообразным даже с учетом нежелательных последствий (увеличиваются размеры движения поездов, увеличивается потребность в локомотивных бригадах).

Формирование поездов по гибкой норме составов позволяет существенно сократить затраты вагоно-часов на накопление, обеспечивает сокращение простоя вагонов на станции [2].

2. Научный обзор, касающийся применения гибкого способа реализации графика.

В настоящее время у большинства поездов накопление идет «самотеком»: по мере поступления групп вагонов на путь накопления состав накапливается до необходимой нормы. После чего происходит процесс фор-

мирования состава и перестановка его в парк отправления. При накоплении вагонов в сортировочном парке бывает так, что при графиковой норме поезда 57 условных вагонов, состав накопился до 54 вагонов. Однако отправка его еще невозможна, так как он не набрал условную длину вагонов и поэтому процесс накопления продолжается. Состав вынужден простаивать до поступления замыкающей группы. В этом случае после окончания накопления состава потребуются другая «нитка» графика, занятие которой может вызвать задержку отправления следующего поезда [3].

Между тем, небольшое отклонение от фиксированной нормы длины и веса поездов при выполнении графика могут значительно ускорить работу сортировочных станций.

Имеются категории поездов (сборные, вывозные, передаточные), формирование которых производится по нефиксированной норме состава из вагонов, имеющихся в наличии. Этот принцип часто используется при разработке узлового графика движения поездов. При этом достигается снижение простоя вагонов под накоплением, но увеличиваются размеры движения поездов и, соответственно, потребность в локомотивах с бригадами, вследствие чего повышается уровень заполнения пропускной способности линии.

3. Процесс накопления составов при гибком способе реализации графика движения поездов.

Рассмотрим детально процесс накопления состава по гибкому графику при гибкой норме состава (рис. 1).

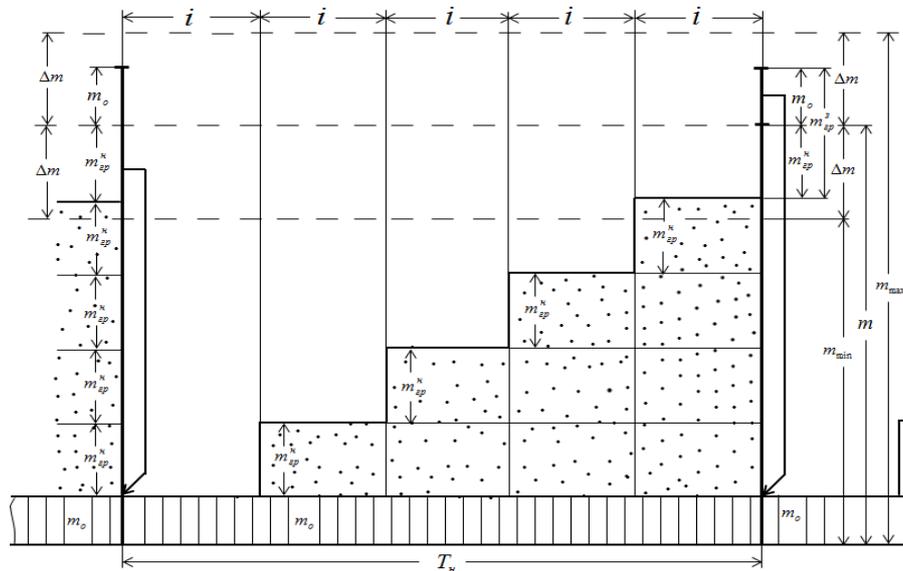


Рис. 1. Процесс накопления состава по гибкому графику при гибкой норме состава

При формировании поездов по гибкой норме состава образуется некий диапазон возможных значений величины состава, который зависит от допустимого отклонения Δm от средней величины состава m в большую и меньшую стороны. Это приводит к снижению средней величины состава

$$m = m_{\max} - \Delta m, \quad (1)$$

что определяет диапазон значений формируемых составов в границах $m \pm \Delta m$. Верхней границей является максимально допустимая величина состава m_{\max} , а минимально допустимой -

$$m_{\min} = m - \Delta m = m_{\max} - 2\Delta m.$$

Анализ графика накопления (рис. 1) показывает, что среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление определяются как:

$$B = 12(m - m_{\text{сп}}^u + 2m_0). \quad (2)$$

Формировать поезда разрешается в тех случаях, когда число накопленных вагонов находится в пределах данного диапазона. Понятно, что чем больше Δm , тем меньше величина среднего остатка вагонов m_0 . Но поскольку при этом средняя величина состава m снижается, то возрастает влияние отрицательных факторов. Поэтому назначение величины Δm требует технико-экономического обоснования.

Поскольку замыкающие группы в общем случае содержат вагоны, дополняющие накапливаемый состав до нормы, и вагоны остатка, то их средняя величина больше, чем величина накопительных групп

$$m_{cp}^3 = m_{cp}^n + m_o.$$

Поэтому средняя величина накопительной группы будет составлять

$$m_{cp}^n = \frac{m - m_o}{n}$$

или

$$m_{cp}^n = (1 - \frac{m_o}{m})m_{cp}. \quad (3)$$

Таким образом, величина m_{cp}^n зависит от значений m_{cp} , m и m_o [4].

Формирование поездов по гибкой норме составов позволяет существенно сократить затраты вагоно-часов на накопление, что обеспечивает сокращение простоя вагонов на станции. С увеличением Δm снижается величина среднего состава формируемых поездов и решение о введении гибкой нормы состава и значения Δm должны соответство-

вать возможностям пропускной способности, локомотивного парка и конкретным условиям работы станции. При выборе целесообразных значений Δm , необходимо иметь зависимость, определяющую значения остатка вагонов m_o при разных значениях Δm , т.е.

$$m_o = f(\Delta m).$$

Такая зависимость может быть установлена на основе моделирования составаобразования и статистической обработки полученных данных.

4. Результаты обработки статистических данных. В процессе имитационного моделирования использовалось реальное поступление групп вагонов на пути сортировочного парка. Для моделирования процесса накопления приняты следующие исходные значения допустимого отклонения от величины состава: $\Delta m = 0; 0,5m_{cp}; m_{cp}; 1,5m_{cp}$. В табл. 1 показаны результаты моделирования для отдельного назначения и приведены расчеты для различных норм составов.

Таблица 1

Параметры составаобразования при разных значениях Δm

Наименование параметра составаобразования	Значение параметра для Δm , ваг.			
	0	3	6	9
Средняя величина накапливаемых составов m , ваг.	50	47	44	41
Среднесуточное количество формируемых поездов N_{ϕ}	3,07	3,20	3,60	4,10
Число групп вагонов в составе n	6,95	6,73	5,98	5,25
Величина группы вагонов m_{cp}^n , ваг.	6,34	6,92	7,15	7,17
Среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление остатка	141,74	44,10	7,00	3,63
Средняя величина остатка m_o , ваг.	5,91	1,84	0,29	0,15

Примечание: Расчет выполнен для $U_{cym} = 155$ ваг.; $m_{cp} = 7,19$; $N_{cp} = 21,53$.

Из анализа данных табл. 1 видно, что с увеличением допустимого отклонения от величины состава Δm снижается средняя величина остатка вагонов m_o , что ведет к снижению затрат вагоно-часов на накопление остатка. Также при величине отклонения $\Delta m = (1,0...1,5)m_{cp}$ происходит практически безостаточное накопление. С увеличением Δm происходит снижение средней величины состава, тем самым увеличивая количество формируемых поездов.

В результате обработки большого массива статистических данных и моделирования составаобразования с целью определения остатка вагонов при разных значениях Δm установлена зависимость соотношения m_o/m_{cp} от соотношения $\Delta m/m_{cp}$. При заданных значениях $\Delta m/m_{cp} = 0; 0,5; 1; 1,5; 2$ путем моделирования определены средние значения соответствующих величин. Введем обозначения: $x = \Delta m/m_{cp}$ и $y = m_o/m_{cp}$.

Средние значения функции $y = f(x)$, определенные обработкой статистических данных, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средние значения функции $y = f(x)$ в дискретных точках

x	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
y	0,90	0,34	0,123	0,03	0,0

Для этих данных была подобрана эмпирическая формула, которая адекватно характеризует кривую, аппроксимирующую статистические значения функции $y = f(x)$:

$$y = \frac{1}{(0,71 + 0,264x)^{3x}} \quad (3)$$

График эмпирической формулы (3) приведен на рис. 2.

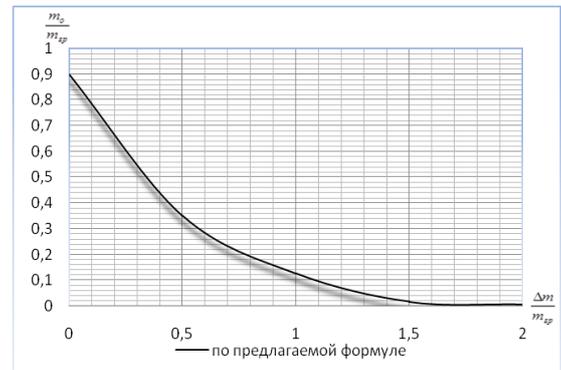


Рис. 2. График функции $y = f(x)$.

На основании полученных зависимостей можно построить номограмму (рис. 3) для определения среднего остатка вагонов практическим путем (не прибегая к сбору и обработке статистических данных).

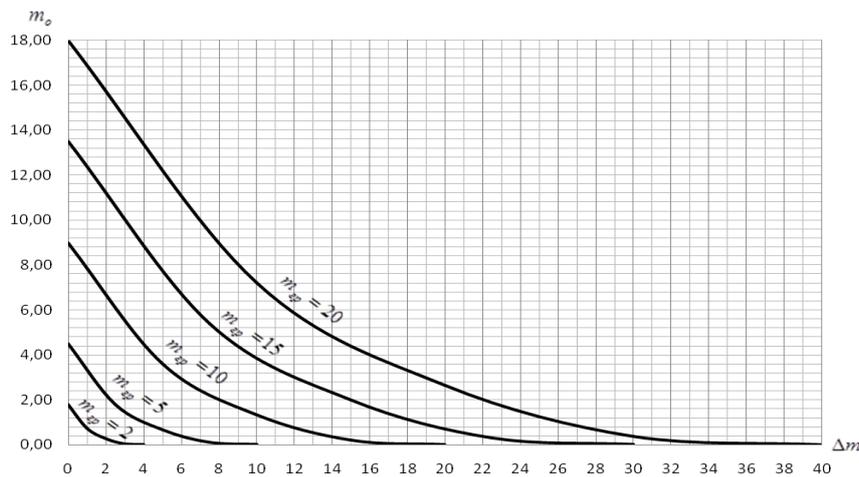


Рис. 3. Номограмма определения среднего остатка вагонов

Зная все необходимые данные, определим значения суточных затрат вагоно-часов на накопление B и параметр накопления c , произведем расчет для стандартных норм состава $m_{\max} = 57$; 71 и 100 вагонов.

Суточные затраты вагоно-часов на накопление определяются по выражению (2), а параметр накопления равен

$$c = B / m. \quad (4)$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднесуточные затраты вагоно-часов на накопление составов и параметр накопления

$m_{\max} = 57$ ваг.									
$\frac{\Delta m}{m_{сп}}$	$m_{сп}$, ваг.	Δm , ваг.	m_o , ваг.	$m_{сп}^H$, ваг.	m , ваг.	B , ваг-ч.	% снижения затрат	c	% снижения параметра накопления
0	2	0	1,80	1,94	57,00	682,32	0	12,00	0
	5	0	4,50	4,61	57,00	682,68	0	12,00	0
	10	0	9,00	8,42	57,00	690,96	0	12,12	0
	15	0	13,50	11,45	57,00	708,60	0	12,43	0
	20	0	18,00	13,68	57,00	735,84	0	12,91	0

Продолжение табл. 2

$m_{\max} = 57$ ваг.									
$\frac{\Delta m}{m_{\text{эп}}}$	$m_{\text{эп}}$, ваг.	Δm , ваг.	m_o , ваг.	$m_{\text{эп}}^H$, ваг.	m , ваг.	B , ваг-ч.	% снижения затрат	c	% снижения параметра накопления
0,5	2	1,0	0,68	1,98	56,00	656,40	3,80	11,72	2,33
	5	2,5	1,70	4,85	54,50	616,20	9,74	11,31	5,75
	10	5,0	3,40	9,40	52,00	552,00	20,11	10,62	12,38
	15	7,5	5,10	13,66	49,50	491,28	30,67	9,92	20,19
	20	10,0	6,80	17,61	47,00	434,28	40,98	9,24	28,43
1,0	2	2,0	0,25	1,99	55,00	639,07	6,34	11,62	3,17
	5	5,0	0,62	4,95	52,00	571,98	16,22	11,00	8,33
	10	10,0	1,23	9,78	47,00	461,40	33,22	9,82	18,98
	15	15,0	1,85	14,51	42,00	352,02	50,32	8,38	32,58
	20	20,0	2,46	-	-	-	-	-	-
1,5	2	3,0	0,06	2,00	54,00	624,72	8,44	11,57	3,58
	5	7,5	0,15	4,99	49,50	535,92	21,50	10,83	9,75
	10	15,0	0,30	9,95	42,00	388,20	43,82	9,24	23,76
	15	22,5	0,45	-	-	-	-	-	-
	20	30,0	0,60	-	-	-	-	-	-
2,0	2	4,0	0,00	2,00	53,00	612,00	10,31	11,55	3,75
	5	10,0	0,00	5,00	47,00	504,00	26,17	10,72	10,67
	10	20,0	0,00	-	-	-	-	-	-
	15	30,0	0,00	-	-	-	-	-	-
	20	40,0	0,00	-	-	-	-	-	-
$m_{\max} = 71$ ваг.									
0	2	0	1,80	1,95	71,00	850,20	0	12,00	0
	5	0	4,50	4,68	71,00	849,84	0	12,00	0
	10	0	9,00	8,73	71,00	855,24	0	12,05	0
	15	0	13,50	12,15	71,00	868,20	0	12,23	0
	20	0	18,00	14,93	71,00	888,84	0	12,52	0
0,5	2	1,0	0,68	1,98	70,00	824,40	3,03	11,78	1,83
	5	2,5	1,70	4,88	68,50	783,84	7,77	11,44	4,67
	10	5,0	3,40	9,52	66,00	718,56	15,98	10,89	9,63
	15	7,5	5,10	13,92	63,50	656,16	24,42	10,33	15,54
	20	10,0	6,80	18,08	61,00	596,64	32,87	9,78	21,88
1,0	2	2,0	0,25	1,99	69,00	807,07	5,07	11,70	2,50
	5	5,0	0,62	4,96	66,00	739,86	12,94	11,21	6,58
	10	10,0	1,23	9,83	61,00	628,80	26,48	10,31	14,44
	15	15,0	1,85	14,61	56,00	518,82	40,24	9,26	24,28
	20	20,0	2,46	-	-	-	-	-	-
1,5	2	3,0	0,06	2,00	68,00	792,72	6,76	11,66	2,83
	5	7,5	0,15	4,99	63,50	703,92	17,17	11,09	7,58
	10	15,0	0,30	9,96	56,00	556,08	34,98	9,93	17,59
	15	22,5	0,45	-	-	-	-	-	-
	20	30,0	0,60	-	-	-	-	-	-
2,0	2	4,0	0,00	2,00	67,00	780,00	8,26	11,64	3,00
	5	10,0	0,00	5,00	61,00	672,00	20,93	11,02	8,17
	10	20,0	0,00	10,00	51,00	492,00	42,47	9,65	19,92
	15	30,0	0,00	-	-	-	-	-	-
	20	40,0	0,00	-	-	-	-	-	-

$m_{\max} = 100$ ваг.									
$\frac{\Delta m}{m_{ep}}$	m_{ep} , ваг.	Δm , ваг.	m_o , ваг.	m_{ep}^H , ваг.	m , ваг.	B , ваг-ч.	% сниже- ния затрат	c	% снижения параметра накопления
0	2	0	1,80	1,96	100,00	1198,08	0	12,00	0
	5	0	4,50	4,78	100,00	1196,64	0	12,00	0
	10	0	9,00	9,10	100,00	1198,80	0	12,00	0
	15	0	13,50	12,98	100,00	1206,24	0	12,06	0
	20	0	18,00	16,40	100,00	1219,20	0	12,19	0
0,5	2	1,0	0,68	1,99	99,00	1172,28	2,15	11,84	1,33
	5	2,5	1,70	4,92	97,50	1131,36	5,46	11,60	3,33
	10	5,0	3,40	9,66	95,00	1064,88	11,17	11,21	6,58
	15	7,5	5,10	14,24	92,50	1000,32	17,07	10,81	10,36
	20	10,0	6,80	18,64	90,00	937,92	23,07	10,42	14,52
1,0	2	2,0	0,25	2,00	98,00	1154,95	3,60	11,79	1,75
	5	5,0	0,62	4,97	95,00	1087,74	9,10	11,45	4,58
	10	10,0	1,23	9,88	90,00	976,20	18,57	10,85	9,58
	15	15,0	1,85	14,72	85,00	865,50	28,25	10,18	15,59
	20	20,0	2,46	-	-	-	-	-	-
1,5	2	3,0	0,06	2,00	97,00	1140,72	4,79	11,76	2,00
	5	7,5	0,15	4,99	92,50	1051,92	12,09	11,37	5,25
	10	15,0	0,30	9,97	85,00	903,96	24,59	10,63	11,42
	15	22,5	0,45	14,93	77,50	756,24	37,31	9,76	19,07
	20	30,0	0,60	-	-	-	-	-	-
2,0	2	4,0	0,00	2,00	96,00	1128,00	5,85	11,75	2,08
	5	10,0	0,00	5,00	90,00	1020,00	14,76	11,33	5,58
	10	20,0	0,00	10,00	80,00	840,00	29,93	10,50	12,50
	15	30,0	0,00	-	-	-	-	-	-
	20	40,0	0,00	-	-	-	-	-	-

В ячейках таблицы с нереальными результатами проставлены прочерки. Нереальный результат имеет место при выполнении следующего условия

$$2\Delta m \geq m_{\max} - m_{ep}^H.$$

С точностью, приемлемой для практических расчетов, можно принять, что при условии $\Delta m / m_{ep} \geq (1 \dots 1,5)m_{ep}$ происходит безостаточное накопление составов (в табл. 2 – строки при $\Delta m / m_{ep} = 1,5$ и $\Delta m / m_{ep} = 2,0$).

С увеличением значений m_{ep} и Δm увеличивается процент снижения суточных затрат вагоно-часов накопления B , а, значит, и простоя вагонов под накоплением. Так, например, при максимальной величине состава $m_{\max} = 57$ ваг., $\Delta m / m_{ep} = 0,5$; $m_{ep} = 2$ ваг. и $\Delta m = 1$ ваг. снижение затрат вагоно-часов составляет всего 3,80 %, а при $m_{ep} = 5$ ваг. и

$\Delta m = 2,5$ ваг. снижение составит уже 9,74 %.

При $\Delta m / m_{ep} = 1$, $m_{ep} = 15$ снижение затрат вагоно-часов достигает 50,32 %. Однако при этом минимальная граница величины состава формируемых поездов при средней величине состава $m = 42$ снижается до величины $m_{\min} = m - \Delta m = 42 - 15 = 27$ вагонов. Такой режим формирования поездов возможен лишь при больших резервах пропускной способности и локомотивного парка и только в том случае, если это экономически оправдано.

С увеличением максимальной границы величины состава m_{\max} процент снижения затрат вагоно-часов накопления уменьшается. Так, для условий последнего примера, при $m_{\max} = 71$ ваг., процент снижения затрат вагоно-часов уменьшается с 50,32 % до 40,24 %, а при $m_{\max} = 100$ ваг. – до 28,25%.

Заключение.

1. Применяя при составообразовании подход, основанный на использовании допустимого отклонения от средней величины состава Δm , можно существенно снизить затраты вагоно-часов на накопление составов, что сокращает простой вагонов на станции. Снижение тем больше, чем больше величина поступающих групп.

2. При значении величины Δm для $m_{zp} \leq 5$ ваг. при значении $\Delta m \geq m_{zp}$ ($\Delta m / m_{zp} \geq 1$), а для $m_{zp} > 5$ ваг. при $\Delta m \geq 1,5m_{zp}$ ($\Delta m / m_{zp} \geq 1,5$) происходит безостаточное накопление вагонов, что обеспечивает минимальный простой под накоплением.

3. С введением величины Δm снижается величина среднего состава формируемых поездов m . Поэтому применение гибкой нормы состава для каждого поездного назначения и выбор значения Δm ввиду роста размеров движения должны опираться на возможность пропуска поездов по участку и достаточное количество локомотивного парка, а также учитывать специфику работы каждой сортировочной станции.

Список литературы

1. Кудрявцев, В.А. Новый подход к расчету затрат вагоно-часов на накопление /

В.А. Кудрявцев, Я.В. Кукушкина, Ш.М. Суюнбаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 1. – С. 5-10.

2 Сотников, Е.А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Е.А. Сотников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

3. Волков, В.С. Графику движения – надежное обеспечение / В.С. Волков // Железнодорожный транспорт. – 1989. – № 6. – С. 32-34.

4. Светашев, А.А. Составообразование на сортировочных станциях / А.А. Светашев, Н.Ф. Светашева. LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 89 с.

Сведения об авторах

Светашев Александр Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, Aleksandr-svetashev@bk.ru.

Солиев Акмалжон Умаржонович – студент магистратуры «Организация перевозки и транспортная логистика» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта, mr_akull993@mail.ru.

RESEARCH OF THE SPHERE OF APPLICATION OF A FLEXIBLE METHOD OF IMPLEMENTATION OF TRAIN MOVEMENT GRAPHICS

Svetashev A.A., Soliev A.U.

Tashkent Institute of Railway Transport Engineers (Tashkent, Uzbekistan)

The purpose of this article is to justify the use of a flexible method for implementing the train schedule at the sorting stations and the parameters characterizing it, as well as the dependencies that determine these parameters and the costs of car-hours for the accumulation of wagons. Results: The article gives a detailed analysis of the process of accumulation of wagons for the composition in the sorting park of the station with a flexible method of implementing the schedule. Formulas are proposed for determining the average daily expenses of car-hours for accumulation and the accumulation parameter of the compositions. The calculation is shown and the average statistical values of the investigated quantities are determined. Practical significance: is the detailed consideration of the process of accumulation of cars with the magnitude of deviation from the maximum norm, the composition in the smaller direction and its effect on the costs of car-hours for the accumulation of wagons.

Key words: wagons accumulation parameter, average residual value, flexible method of train traffic schedule implementation, wagon-hour costs, deviation value, flexible composition ratio, reduction of train idle time.

DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-105-112

References

1. Kudryavtsev V.A., Kukushkina Ya.V., Suyunbaev S.M. New approach to calculating the cost of Vago-hours accumulation. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya*, 2010, No. 1, pp. 5-10. (In Russian)

2. Sotnikov E.A. The Operational work of the Railways (the state, problems and prospects). Moscow, Transport, 1986. 256 p. (In Russian)

3. Volkov V.S. Traffic schedule – reliable security. *Railway transport*, 1989, No. 6, pp. 32-34. (In Russian)

4. Svetashev A.A., Svetasheva N.F. *The formation of trains on sorting stations*. LAMBERT Academic Publishing, 2017. 89 p. (In Russian)

Authors' information

Alexander A. Svetashev - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Management of Exploitation Work" at Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, *Aleksandr-svetashev@bk.ru*.

Akmaljon U. Soliev - the master's student "The Organization of transportation and transport logistics" at Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, *mr_akull993@mail.ru*.

Дата принятия к публикации
(Date of acceptance for publication)
03.03.2018

Дата публикации
(Date of publication):
25.03.2018

