

**ПЕРЕВОЗКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

УДК 656.222.3

Г. А. ЦИРКУНОВ, профессор Белорусского государственного университета транспорта, г. Гомель

**ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ВХОДЯЩЕГО ВАГОНПОТОКА НА СТАНЦИИ**

Содержится общая характеристика моделирования обслуживания вагонов, прибывающих на станцию; методики процесса моделирования и достоверности расчетов, определение приведенных затрат; пример модели процесса обслуживания входящих вагонопотоков на первом шаге с интенсивностью 30 вагонов/час; итоговые показатели моделей обслуживания входящих вагонопотоков на пункте при различной интенсивности; графики зависимостей между интенсивностью обслуживания вагонов и затратами, вызываемыми вагоно-часами простоя, простоем обслуживающего персонала в ожидании прибытия вагонов, содержанием путевого развития, приведенными затратами денежных средств; кратность изменения показателей работы пункта в зависимости от изменения интенсивности обслуживания вагонов и выводы.

**В** статье изложена методика выбора оптимальной интенсивности обслуживания вагонов на пункте и влияние параметров технологии на приведенные затраты.

На железнодорожные станции вагоны и грузы прибывают неравномерно как по времени (продолжительность интервалов), так и по величине потока. Интервалы между поступлениями вагонов (грузов) и величина каждого потока являются случайными величинами, значение которых определяется статистическими наблюдениями.

При средней интенсивности обслуживания поток за период интервала может быть обслужен полностью или только часть его. При неполном обслуживании избыточный поток переходит на последующий интервал. Продолжительность обслуживания потока зависит от его величины в тоннах или вагонах в каждом поступлении, интенсивности обслуживания и продолжительности интервала. При значительном увеличении потока и незначительной величине интервала образуется очередь, а при уменьшении потока и увеличении интервала обслуживающие устройства и персонал, занятый обслуживанием, будут простаивать из-за отсутствия потока. При интенсивности обслуживания потока, равной средней интенсивности, в конце исследуемого периода образовывается остаток необслуженного потока. При постепенном увеличении интенсивности обслуживания остаток потока уменьшается и к концу исследуемого периода полностью исчезает или не превышает первоначальный. С изменением интенсивности обслуживания изменяются параметры процесса: простой вагонов, занятость обслуживающих устройств и персонала обслуживания, остаток вагонов. Интенсивность обслуживания должна соответствовать

минимальным приведенным затратам, необходимым для обслуживания потока.

Оптимальная интенсивность обслуживания вагонов определяется в такой последовательности. Выбирается период поступления вагонов с резко выраженной неравномерностью. Продолжительность периода  $T_{пм}$ , сут., определяется законом больших чисел. Исходной информацией являются: время прибытия вагонов (час, минуты); количество вагонов в каждом поступлении  $m_i$ ; остаток вагонов перед началом моделирования  $m_{осн}$  и в межпоездном интервале  $m_{оси}$ . На основании исходной информации определяются: общий вагонопоток за расчетный период

$$\sum m_{пв} = \sum m_i + m_{осн}; \tag{1}$$

интервал между поступлениями вагонов  $J_i$  (минут); по сумме интервалов проверяется продолжительность расчетного периода, мин,

$$\sum J_i = 1440 T_{пм}; \tag{2}$$

средняя интенсивность обслуживания вагонов за расчетный период  $\lambda_o$ , ваг/ч,

$$\lambda_o = \sum m_i + m_{осн} / 24T_{пм}. \tag{3}$$

Далее расчеты выполняются для каждого поступления вагонов.

Определяется возможное число вагонов, обслуживаемых за межпоездной интервал,

$$m_{вози} = \lambda_o J_i / 60. \tag{4}$$

Фактическое число обслуживаемых вагонов  $m_{фи}$  зависит от наличного вагонопотока, находящегося на пункте, и от возможного числа обслуживаемых вагонов и определяется следующим образом:

если  $m_{оси} + m_i \geq m_{вози}$ , то  $m_{фи} = m_{вози}$ ,  $\tag{5}$

$$\text{если } m_{oci} + m_i < m_{вози}, \text{ то } m_{\phi i} = m_{oci} + m_i. \quad (6)$$

В зависимости от наличного и обслуженного вагонопотоков определяется неиспользованная возможность обслуживания вагонов

$$m_{нci} = m_{вози} - m_{\phi i}. \quad (7)$$

Определяется простой вагонопотока, мин, в межпоездном интервале

$$t_{пви} = 60 m_{\phi i} / \lambda_o. \quad (8)$$

Используя величину простоя вагонопотока в межпоездном интервале, определяют вагоно-минуты простоя

$$B_{пви} = t_{пви} (m_{oci} + m_i). \quad (9)$$

Используя продолжительность межпоездного интервала и продолжительность простоя вагонов в нем, определяют простой обслуживающего персонала, бригадо-мин, и устройств для обслуживания вагонов

$$t_{опi} = J_i - t_{пви}. \quad (10)$$

Устройства для обслуживания вагонов (вагонные весы, пути для стоянки вагонов, телевизионные установки для осмотра грузов и др.) заняты вместе с работой обслуживающего персонала. Простой обслуживающего устройства, устройствомин,

$$t_{оуci} = J_i - m_{\phi i} t_{уci}, \quad (11)$$

где  $t_{уci}$  – занятость устройства при обслуживании одного вагона, мин.

После расчета модели на каждом шаге с принятой величиной  $\lambda_i$  определяются итоговые данные и достоверность выполненных расчетов.

Количество вагонов, участвующих в модели за период моделирования, определяется по формуле (1).

Сумма межпоездных интервалов должна быть равна периоду моделирования (сумма величин четвертого столбца таблицы 1) и определяется по формуле (2). Количество вагонов, которое может быть обслужено на пункте за период моделирования (сумма величин шестого столбца таблицы 1),

$$\sum m_{вози} = \lambda_{in} \sum J, \quad (12)$$

где  $\lambda_{in}$  – интенсивность обслуживания вагонов на  $i$ -м шаге моделирования.

Фактическое количество обслуженных вагонов за период моделирования (сумма величин седьмого столбца таблицы 1)

$$\sum m_{\phi i} = \sum m_{пв} - m_{оски}, \quad (13)$$

где  $m_{оски}$  – остаток вагонов в конце шага моделирования.

Неиспользованные возможности обслуживания вагонов (сумма величин девятого столбца таблицы 1)

$$\sum m_{нci} = \sum m_{вози} - \sum m_{\phi i}. \quad (14)$$

Продолжительность простоя вагонов за период моделирования (сумма величин десятого столбца таблицы 1)

$$\sum t_{пви} = \sum m_{\phi i} 60 / \lambda_{in}. \quad (15)$$

Простой обслуживающего персонала за период моделирования (сумма величин двенадцатого столбца таблицы 1)

$$\sum t_{опi} = \sum J - \sum t_{пви}. \quad (16)$$

Исследование выполняют несколькими шагами (вариантами), задаваясь разной интенсивностью обслуживания вагонов, начиная со средней величины с постепенным ее увеличением.

После первого шага, вследствие неравномерности прибытия вагонопотоков, некоторая часть его остается необслуженной, величина которой зависит от величины неиспользованной возможности обслуживания на некоторых интервалах расчетного периода.

При увеличении интенсивности обслуживания вагонов остаток необслуженных вагонов уменьшается, а простой обслуживающих устройств (установок) и обслуживающего персонала – увеличивается. Для выбора оптимального решения необходимо определить для каждого варианта интенсивности обслуживания, приведенные затраты, связанные с простоем вагонов, обслуживающих устройств, обслуживающего персонала и содержанием путевого развития. Вариант с минимальными (наименьшими) затратами считается оптимальным.

Приведенные затраты, усл.ед./период, определяются по формуле

$$C_3 = (\sum B_{пви} C_B + \sum t_{опi} C_{оп} (\lambda_{in} / \lambda_o) + \sum t_{оуci} C_{уc}) / 60 + (T_{пм} / 365) \{ (m_{max} l_B + l_n) [a_{пп} (\alpha_{ап} + \alpha_{рп} + \epsilon) + a_{сп}] + (m_{max} l_B + l_n) Z_{стр} / l_n [K_{стр} (\alpha_{ст} + \alpha_{рст} + \epsilon) + a_{стр}] \}, \quad (17)$$

где  $C_B$  – расчетная ставка за один вагоно-час простоя вагона, усл.ед.;  $C_{уc}$  – то же технических устройств для обслуживания вагонов;  $\sum t_{оуci}$  – простой технических устройств за период моделирования, мин;  $\sum t_{опi}$  – то же обслуживающего персонала;  $C_{оп}$  – расходная ставка за один бригадо-час простоя, усл.ед.;  $m_{max}$  – максимальное наличие вагонов на пункте;  $l_B$ ,  $l_n$ ,  $l_n$  – длина соответственно вагона локомотива и пути для стоянки вагонов, м;  $Z_{стр}$ ,  $K_{стр}$  – число стрелочных переводов, относящихся к одному пути обслуживания, и его стоимость, усл.ед.;  $a_{пп}$  – стоимость одного метра пути обслуживания, усл.ед.;  $a_{сп}$  – то же содержание пути;  $a_{стр}$  – то же одного стрелочного перевода;  $\alpha_{ап}$ ,  $\alpha_{рп}$  – отчисления на амортизацию и ремонт станционного пути пункта обслуживания, доля ед./год;  $\alpha_{ст}$ ,  $\alpha_{рст}$  – то же стрелочного перевода.

Таблица 1 – Модель обслуживания вагонов при средней интенсивности 30 ваг/ч

Прибытие вагонов				Количество вагонов в межпоездном интервале $M_{\text{ост}} + m_i$	Количество обслуживаемых вагонов в межпоездном интервале		Остаток необслуженных вагонов в межпоездном интервале $M_{\text{ост}}$	Неиспользованные возможности обслуживания вагонов в межпоездном интервале $m_{\text{нел}}$	Простой вагонов при обслуживании в межпоездном интервале $t_{\text{пр}}$ , мин	Вагоно-минуты простоя в межпоездном интервале $B_{\text{пр}}$	Простой обслуживающего персонала в межпоездном интервале $t_{\text{пр.п}}$ , мин
Время		Количество вагонов $m_i$	Межпоездной интервал $J_i$ , мин		возможное $m_{\text{воз}}$	фактическое $m_{\text{ф}}$					
ч	мин										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	00	-	30	46	15	15	31,0	-	30	1380,0	-
18	30	39	140	70,0	70,0	70	-	-	140	9800,0	-
20	50	27	56	27	28	27	-	1	54	1458,0	2
21	46	57	144	57	72	57	-	15	114	6498,0	30
00	10	46	66	46,0	33,0	33,0	13,0	-	66	3036,0	-
01	16	33	28	46,0	14,0	14,0	32,0	-	28	1288,0	-
01	44	36	56	68,0	28,0	28,0	40,0	-	56	3808,0	-
02	40	29	30	69,0	15,0	15,0	54,0	-	30	2070,0	-
03	10	44	55	98	27,5	27,5	70,5	-	55	5390,0	-
04	05	33	65	103,5	32,5	32,5	71,0	-	65	6727,5	-
05	10	36	125	107,0	62,5	62,5	44,5	-	125	13375,0	-
07	15	39	47	83,5	23,5	23,5	60,0	-	47	3924,5	-
08	02	25	153	85,0	76,5	76,5	8,5	-	153	13005,0	-
10	35	36	118	44,5	59,0	44,5	-	14,5	89	3960,5	29
12	33	46	122	46,0	61,0	46,0	-	15,0	92	4232,0	30
14	35	42	90	42,0	45,0	42,0	-	3,0	84	3528,0	6
16	05	45	7	45,0	3,5	3,5	41,5	-	7	315,0	-
16	12	61	108	102,5	54,0	54,0	48,5	48,5	108	1107,0	-
Итого		674	1440	720	720	671,5	48,5	48,5	1343	94856,5	97

Пример модели процесса обслуживания входящих вагонопотоков на первом шаге с интенсивностью 30 ваг/ч приведен в таблице 1.

Также произведено моделирование процесса обслуживания вагонов при следующих интервалах: 32, 34, 35, 36, 45, 46, 47 и 48 ваг/ч.

По каждой модели определены приведенные и

удельные затраты и результаты расчетов даны в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что наименьшие приведенные затраты 402,724 усл.ед. получены при интенсивности обслуживания 46 ваг/ч. На основании этой величины определяются другие параметры пункта обслуживания вагонов.

Таблица 2 – Итоговые показатели моделей обслуживания вагонов на пункте при различной интенсивности за период моделирования

Интенсивность обслуживания вагонов, ваг/ч	Максимальное наличие вагонов на пункте обслуживания	Количество вагонов, которые могут быть обслужены за период моделирования	Фактическое количество обслуженных вагонов	Остаток необслуженных вагонов	Неиспользованные возможности обслуживания вагонов	Продолжительность простоя вагонов, мин	Вагоно-минуты простоя	Простой обслуживающего персонала, бригадо-мин	Затраты за один час простоя обслуживающего персонала, усл.ед./бригадо-ч	Затраты, усл.ед., вызванные простоем		Расходы на содержание путей и стрелочных переводов, усл.ед.	Приведенные затраты, усл.ед.
										вагонов	обслуживающего персонала		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30	107	720,0	671,500	48,500	48,500	1343,000	94865,500	97,000	8,000	474,327	12,933	68,829	556,088
32	103	768,0	765,334	44,666	92,666	1266,249	84302,596	173,751	8,533	421,512	24,711	66,938	513,161
34	103	816,0	679,166	40,834	136,834	1198,527	75421,719	241,473	9,066	377,108	36,489	66,938	480,565
35	102	840,0	684,083	38,917	158,917	1167,568	71543,694	272,432	9,333	357,718	42,378	65,830	465,453
36	102	864,0	683,000	37,000	181,000	1138,542	67999,118	301,458	9,600	339,995	48,233	65,830	454,693
45	101	1080,0	700,250	19,750	379,750	933,666	48347,617	506,334	12,000	241,738	101,266	60,108	403,028
46	101	1104,0	702,166	17,834	401,834	915,868	47110,295	524,132	12,233	235,551	107,155	60,108	402,724
47	101	1128,0	704,083	15,917	423,917	898,829	45938,251	541,171	12,533	229,694	113,044	60,108	402,756
48	101	1152,0	706,000	14,000	466,000	882,500	44799,200	557,500	12,800	223,983	118,933	60,108	402,934

По итогам моделирования построены графики зависимостей между интенсивностью обслуживания вагонов и затратами, вызываемыми простоем вагонов (I); то же простоем обслуживающего персонала (II); то же содержанием путевого развития (III); приведенными затратами (IV) (рисунок 1).

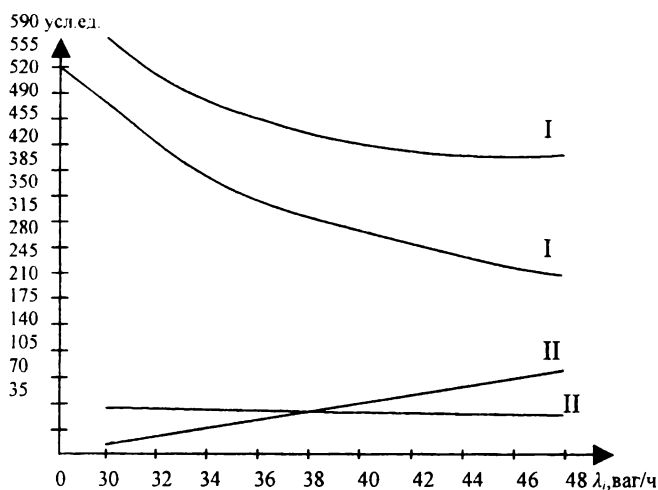


Рисунок 1 – Графики зависимостей между интенсивностью обслуживания вагонопотоков и затратами

Из таблицы 2 видно, что интенсивность обслуживания вагонов оказывает влияние на показатели работы пункта. С изменением величины интенсивности обслуживания кратность изменения показателей неодинакова. В таблице 3 приведены показатели работы пункта обслуживания 30 и 46 ваг/ч и кратность их изменения при повышении интенсивности до 46 ваг/ч.

Из таблицы 3 видно, что с изменением интенсивности обслуживания вагонов наблюдается

большая кратность изменения следующих показателей: неиспользованные возможности обслуживания вагонов – 8,45 (увеличение); затраты за простоем обслуживающего персонала – 5,39 (увеличение); остаток необслуженных вагонов – 2,71 (уменьшение); вагоно-минуты простоя – 2,1 (уменьшение) и затраты, вызываемые простоем вагонов, – 2,01 (уменьшение). Небольшая кратность изменения наблюдается в следующих показателях: число обслуженных вагонов – 1,04 (увеличение); максимальное наличие вагонов на пункте – 1,06 (уменьшение) и расходы на содержание путей и стрелочных переводов – 1,12 (уменьшение). С увеличением интенсивности обслуживания вагонов в 1,53 раза приведенные затраты уменьшаются в 1,38 раза.

Предыдущие модели разработаны при наличии 46 вагонов на пункте перед началом моделирования. Чтобы выявить влияние остатка вагонов перед началом моделирования на показатели работы пункта обслуживания вагонов, разработана модель с остатком 92 вагона и интенсивностью обслуживания 30 ваг/ч. В этом случае вагоно-минуты простоя составили 135063,5, а в модели с остатком 46 вагонов – 94865,5. В модели с остатком 92 вагона вагоно-минут простоя оказалось больше на 40198 в сравнении с моделью с остатком 46 вагонов, что составляет 42 %.

Таким образом, как показали исследования, остаток вагонов в начале периода моделирования оказывает существенное влияние на величину простоя вагонов. Нужно стремиться к сокращению его перед началом рабочей смены.

Таблица 3 – Кратность изменения показателей пункта обслуживания вагонов при изменении интенсивности обслуживания с 30 до 46 ваг/ч

Показатели пункта обслуживания вагонов	Размерность	Величина показателя интенсивности, ваг/ч		Кратность изменения	
		30	46	увеличение	уменьшение
Интенсивность обслуживания вагонов	Вагоно/час	30,00	46,00	1,53	-
Максимальное наличие вагонов в пункте	Вагон	107,00	101,00	-	1,06
Возможности пункта обслуживания вагонов	То же	720,00	1104,00	1,53	-
Обслуживание вагонов	То же	671,50	702,16	1,04	-
Остаток необслуженных вагонов	То же	48,50	17,83	-	2,71
Неиспользованные возможности обслуживания вагонов	То же	48,50	401,83	8,45	-
Продолжительность простоя вагонов при обслуживании	Минута	1343,00	915,86	-	1,46
Вагоно-минуты простоя	Вагоно-минута	94865,5	47110,29	-	2,10
Простой обслуживающего персонала на пункте	Бригадо-минута	97,00	524,13	5,39	-
Затраты за один час простоя обслуживающей бригады	Усл. ед./бригадо-час	8,00	12,23	1,53	-
Затраты, вызываемые простоем вагонов	Усл. ед.	474,32	235,55	-	2,01
То же обслуживающего персонала	То же	12,93	107,15	8,29	-
Расходы на содержание станционных путей и стрелочных переводов	То же	68,82	60,11	-	1,12
Приведенные затраты	То же	556,08	402,72	-	1,38

## Выводы

1 Оптимальный режим работы пункта обслуживания вагонов должен соответствовать минимальным приведенным затратам, определяемым методом моделирования реальных вагонопотоков.

2 На режим работы существенное влияние оказывают следующие показатели: интенсивность обслуживания вагонов; остаток вагонов перед началом моделирования, простой вагонов и обслуживающего персонала. В приведенных затратах они соответствуют 86 %.

3 Содержание путевого хозяйства и стрелочных переводов пункта обслуживания составляет 14 % от приведенных затрат.

Получено 26.10.2000

**G.A.Tsircunov. Choosing the Economically Safe Technology of Servicing the Incoming Wagon Flow on the Station.**

The article contains general characteristics of carriages at the station maintenance modeling; methods of modeling and reliability of calculations; determinations of reduced expenditures; an example of maintenance process model of arriving carriage flow on the first stage with maintenance capacity 30 carriage per hour; total characteristics of arriving carriage flow on a point at different intensity; a dependence curve between carriage maintenance intensity and: 1 expenditures by idle time carriage hours; 2 idle time of maintenance stuff waiting for carriage arrival; 3 the same of rail trash development; 4 reduced expenditures; ratio of maintenance point work indicators depending on carriage maintenance intensity change and resume.

**Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2001. № 1**

УДК 656.25

*А. К. ГОЛОВНИЧ, доцент кафедры «Изыскания и проектирование транспортных коммуникаций» Белорусского государственного университета транспорта, г. Гомель*

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ВАРИАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СХЕМ СТАНЦИЙ

Рассматривается возможность использования объектов САПР железнодорожных станций переменной конфигурации, настраиваемой программно в соответствии с текущей проектной ситуацией. Выделяются две группы вариативных структур, различающихся по характеру действия.

Элементная база автоматизированного проектирования железнодорожных станций ограничивается незначительным набором примитивов (стрелочный перевод, участок пути). Тем не менее, как показывают проведенные исследования, данное множество элементов позволяет проектировать достаточно сложное путевое развитие (от разъездов до схем железнодорожных узлов). Однако часто возникает необходимость оперировать не статичным элементом, закрепляемым в данной точке, а некоторым динамическим набором, различающимся ориентацией, длиной, цветом, типом, толщиной линии. При вызове такого вариационного

набора из базы могут моделироваться различные проектные ситуации, что обогащает и ускоряет процесс проектирования в целом. На экране дисплея возникают альтернативные структуры соединений стрелочных переводов, длин путей, которые предлагаются проектировщику для выбора в данной конкретной узловой точке. Причем эти динамические формы, именуемые вариативными объектами, не просто вызываются по порядку из базы, а в зависимости от существующей структуры путевого развития визуализируются в виде разрешенных состояний. Например, при вызове пользователем нового стрелочного перевода с привязкой

## Список литературы

1 Циркунов Г. А. Комплексный выбор технической оснащенности и эксплуатационных параметров перегрузочных пунктов пограничных станций методом моделирования// Перспективы развития Белорусской ж.д.: Сб. докл. XV науч.- техн. конф. кафедр БелИИЖТа и ДорНТО Белорусской ж.д. – Гомель: БелИИЖТ, 1980. С. 80 – 82.

2 Циркунов Г. А. Выравнивание входящих вагонопотоков на пограничной перегрузочной станции// Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов: Международ. сб. науч. ст. – Гомель: БелИИЖТ, 1980. С. 83 – 95.