

– на вокзале планируется продолжение работы по благоустройству и приданию первоначального облика здания вокзала (капитальный ремонт и реставрация крыши);

– совместно с пассажирской службой Управления Белорусской железной дороги планируется внедрение системы продаж проездных документов (билетов) на поезда с нумерованными местами с использованием билето-печатающих машин (БПМ).

Планомерная реализация системы мер по развитию объектов и технологии обслуживания пассажиров на вокзале станции Гомель позволяет обеспечивать современный уровень качества пассажирских услуг.

### Список литературы

1 Кузнецов, В. Г. Организация работы железнодорожных вокзалов / В. Г. Кузнецов, Л. А. Редько, И. М. Литвинова. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 248 с.

2 Классификатор продукции по видам экономической деятельности. Ч. 1. – Минск, 2016. – 448 с.

3 СТП БЧ 20.344–2016 Единая система информационных носителей, предназначенных для информирования пассажиров на вокзалах, линейных станциях и остановочных пунктах Белорусской железной дороги. – Минск : Бел. ж. д., 2016.

---

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

■ Емельянова Инесса Анатольевна, г. Гомель, РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги, заместитель начальника вокзала станции Гомель, lvok@gomel.rw.by;

■ Аксёничков Александр Александрович, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда», aksenchikov72@mail.ru.

УДК 656.212:658.512

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ГОРОЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА

*А. А. ЕРОФЕЕВ*

*УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

*С. Ю. ЧАПСКИЙ*

*УП «Витебское отделение Белорусской железной дороги»*

Оперативное планирование маневровой работы на технических станциях является одной из важнейших эксплуатационных задач. При этом особую сложность представляет объективное определение продолжительности выполнения операций с составами и вагонами.

В настоящее время при определении продолжительности выполнения операций при оперативном планировании, как правило, используется методика нормирования маневровых операций [1]. Однако, как следует из названия данной методики, ее применение в оперативных условиях является некорректным, так как не учитывает множество факторов. Например, при определении продолжительности расформирования-формирования состава на сортировочной горке такими факторами являются:

- фактическая длина маневрового состава;
- фактическое наличие групп вагонов ЗСГ и их расположение в составе;
- наличие вагонов, требующих особых условий ропуска;
- фактическая занятость путей подгорочного парка;
- погодные условия и др.

Из-за влияния отмеченных выше факторов фактическая продолжительность выполнения технологических операций горочного технологического цикла (ПВТО) может отличаться от нормативных значений на 50–90 %.

Следовательно, необходимо при оперативном планировании использовать математические модели, которые позволяют не только выполнять расчеты, исходя из заранее заложенных параметров и закономерностей, но и способны анализировать информацию о текущей эксплуатационной обстановке, находить в ней закономерности и учитывать воздействие случайных факторов.

Предлагается в качестве основы прогнозирования ПВТО использовать предложенные профессором Л. П. Тулуповым ситуационно-эвристические методы прогнозирования (СЭМП) [2]. В СЭМП предполагается, что стохастическая связь между ПВТО и каждым влияющим фактором достаточно точно описывается линейными моделями лишь в узких границах изменения факторов. Из этого предположения следует, что при установлении формы связи допустимо использование лишь тех опытных (статистических) данных, которые в определенном смысле реализованы в сходных эксплуатационных обстановках.

Считается заранее установленным, что значение ПВТО зависит от основных ( $\Phi_i$ ) и дополнительных ( $\Phi_\nu$ ) факторов, где  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $\nu = 1, 2, \dots, \theta$ . На начало расчета значения факторов известны и в совокупности составляют исходную эксплуатационную обстановку ( $\Phi_i^{z+1}, \Phi_\nu^{z+1}$ ).

Под прогнозом понимается установленное значение ПВТО в эксплуатационной обстановке, которая сложилась на плановый период  $\tilde{X}_1^{z+1}, \tilde{X}_2^{z+1}, \dots, \tilde{X}_i^{z+1}, \dots, \tilde{X}_I^{z+1}$ . Обозначим всю их совокупность через  $(\tilde{X}_I^{z+1})$ , причем величина  $\tilde{X}^{z+1} = \sum_I \tilde{X}_I^{z+1}$  имеет физический смысл, т. е. группа

прогнозируемых показателей однородна. Предусматривается три этапа расчетов: *подготовительный, оперативный и самообучение.*

На *подготовительном этапе* для каждого ПВТО устанавливается перечень влияющих факторов ( $\Phi_i$ ) и технология их определения. Количественные характеристики эксплуатационной обстановки и соответствующие им отчетные значения ПВТО составляют строку опыта. Строки опыта за  $z$  предплановых периодов образуют массив опыта  $Z$ . Вид матрицы, характеризующей массив опыта, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Массив опыта  $Z$

Строка опыта	Факторы		Выполненные показатели
	основные	дополнительные	
1	$\Phi_1^1 \dots \Phi_i^1 \dots \Phi_l^1$	$\omega^1 \sigma^1$	$X^1 \quad X_1^1 \dots X_l^1 \dots X_L^1$
...	...	...	...
$j$	$\Phi_1^j \dots \Phi_i^j \dots \Phi_l^j$	$\omega^j \sigma^j$	$X^{1j} \quad X_1^j \dots X_l^j \dots X_L^j$
...	...	...	...
$z$	$\Phi_1^z \dots \Phi_i^z \dots \Phi_l^z$	$\omega^z \sigma^z$	$X^z \quad X_1^z \dots X_l^z \dots X_L^z$
$z+1$	$\Phi_1^{z+1} \dots \Phi_i^{z+1} \dots \Phi_l^{z+1}$	$\omega^{z+1} \sigma^{z+1}$	???

На подготовительном этапе на основании экспертных оценок устанавливаются доли влияния каждого фактора на показатель  $\bar{x}_i$ . Тогда прогноз

$$\tilde{X}^j = \sum_{i=1}^l \bar{x}_i \Phi_i^j. \quad (1)$$

На *оперативном этапе* определяются прогнозные показатели для сложившейся эксплуатационной обстановки. Для этого составляется система из  $z$  уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^l \bar{x}_i \Phi_i^l = X^l \\ \sum_{i=1}^l \bar{x}_i \Phi_i^j = X^j, \\ \sum_{i=1}^l \bar{x}_i \Phi_i^z = X^z \end{cases} \quad (2)$$

На каждый  $\bar{x}_i$  накладываются технологические ограничения:

$$x_i^{\min} \leq \bar{x}_i \leq x_i^{\max}, \tag{3}$$

где  $x_i^{\min}, x_i^{\max}$  – граничные значения изменения ПВТО.

Совокупность коэффициентов ( $\bar{x}_i$ ) при ограничениях (3) может определяться различными способами, например с использованием алгоритмов поиска долгосрочных нормативов ( $\bar{x}_i$ ), исходя из условия:

$$\sum_{j=1}^z (X^j - \tilde{X}^j)^2 = \sum_{j=1}^z [X^j - \sum_{i=1}^l \bar{x}_i \Phi_i^j] \rightarrow \min, \tag{4}$$

где  $X^j$  – отчетное значение ПВТО;  $\tilde{X}^j$  – прогнозное значение ПВТО.

Нормативы ( $\bar{x}_i$ ) используются для выбора из массива опыта наиболее близких к предплановой эксплуатационной обстановке. Критерий близости  $j$ -й строки массива опыта задается в виде функции  $K^j = \xi(\Phi_i^j, \bar{x}_i, \Phi_i^{z+1})$ . Функция  $\xi$  определяет способ отбора близких эксплуатационных обстановок. Нельзя утверждать, что в массиве опыта всегда есть хотя бы одна строка  $j$ , у которой эксплуатационная обстановка  $(\Phi_i^j, \sigma^j, \omega^j)$  точно совпадает с предплановой  $(\Phi^{z+1}, \sigma^{z+1}, \omega^{z+1})$ . Однако среди строк найдется несколько исходных эксплуатационных обстановок, которые в определенном смысле более близки к предплановой по сравнению другими.

Эксплуатационная обстановка определяется вектором с координатами  $(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i)$ . При покоординатной оценке эксплуатационной обстановки  $j$ -й строки массива  $Z$  будем считать близкой к  $z+1$ , если выполняется следующее неравенство:

$$K_{(z+1,j)} = K_i^j = |\Phi_i^{z+1} - \Phi_i^j| \leq \varepsilon_i, \tag{5}$$

где  $\varepsilon_i$  – допустимое отклонение ( $i = 1, 2, \dots, l$ ).

Влияющие факторы могут быть неравнозначными, что определяет неравнозначность величин  $\varepsilon_i$ . Если в области, удовлетворяющей условию (5), не окажется достаточного количества эксплуатационных обстановок ( $M < M_{\min}$ ), то допустимую разность критериев увеличивают с заданным шагом. Если и в этом случае количество выбранных близких эксплуатационных обстановок  $M < M_{\min}$ , близость ситуаций оценивается другими критериями. Если требуется, чтобы некоторые факторы в близких ситуациях совпадали, то в этом случае  $\varepsilon_i = 0$ .

Этап *самообучения* позволяет корректировать рассчитываемые величины после получения отчетных данных. Расхождение возникает из-за неточностей в оперативном учете и диспетчерской информации.

В общем случае в матрице, кроме отчетного значения, должны формироваться столбцы скорректированного опыта, куда по прошествии каждого периода на место прогнозируемого значения ПВТО заносится

$$X_I^{z+1} = \tilde{X}_I^{z+1} + \rho(X_I - \tilde{X}_I^{z+1}), \quad (6)$$

где  $X_I$  – отчетное значение ПВТО;  $\rho$  – коэффициент корректировки,  $\rho \in [0; 1, 0]$ .

Это значение записывается в  $z+1$ -ю строку массива опыта  $Z$ .

Для программной реализации предложенного метода прогнозирования ПВТО предлагается использовать математический аппарат теории искусственных нейронных сетей (ИНС) (это математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма [3]).

При разработке архитектуры ИНС в ИСУПП за основу была взята простейшая модель однослойной ИНС (рисунок 1).

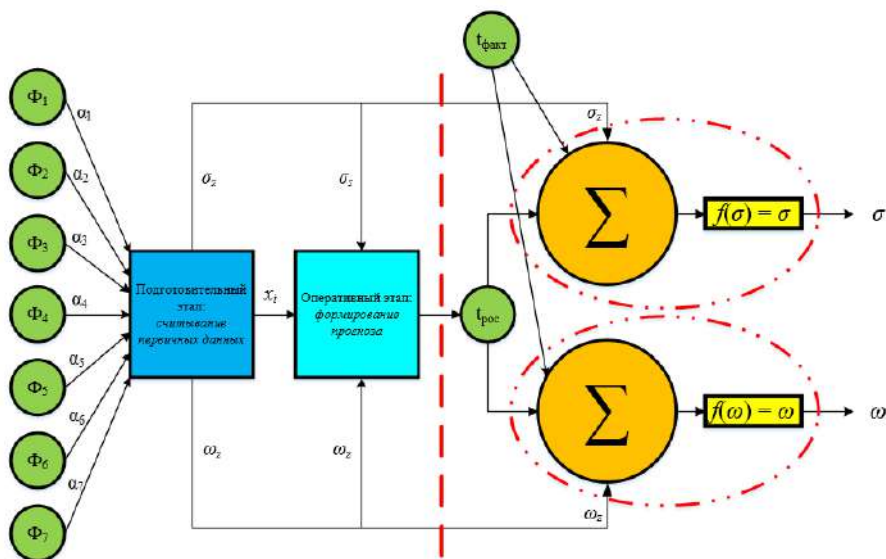


Рисунок 1 – Развернутая схема ИНС в ИСУПП

Основой ИНС является совокупность из  $N$  нейронов и последовательно расположенных сумматоров со встроенными блоками функций активации. Таким образом, при входном массиве данных  $x_1 \dots x_n$  на выходе получается искомый массив  $y_1 \dots y_m$  с промежуточной корректировкой весовых параметров.

Предлагаемой архитектуре ИНС свойственны некоторые особенности:

1) ИНС условно разделена на два сектора (показано красной линией): нейронные блоки характеризуют процесс самообучения системы, а два параллельно расположенных нейрона (выделены штрихпунктирными эллипсами) реализуют корректировку значений дополнительных факторов ( $\omega, \sigma$ ) в зависимости от входных параметров сектора ( $t_{\text{рос}}, t_{\text{факт}}$ ). При этом если прогнозное время роспуска состава ( $t_{\text{рос}}$ ) передается из левого сектора, то фактическое время роспуска ( $t_{\text{факт}}$ ) поступает из действующих АСУС.

2) В качестве функции активации (правый желтый блок) выбрана зависимость тождественного отображения вида  $f(x) = x$ . Свойства данной функции наиболее подходящие для проведения корректировок исследуемых показателей. На момент проведения исследования альтернативной функции активации обнаружено не было, однако ее существование не исключено.

3) В отличие от простейших моделей ИНС, сумматоры в разработанной схеме представляют собой многофункциональный блок, основной задачей которого является проведение необходимых расчетов для исправления и корректировки значений влияния дополнительных факторов.

Программная реализация предложенных решений реализована на языке Python. Пользовательский интерфейс представляет собой текстовый документ с четырьмя электронными таблицами. Пользователь непосредственно взаимодействует с таблицей «Массив опыта», последняя строка которой открыта для ввода данных о новом составе [4].

В первые четыре столбца вписываются метеорологические и календарные характеристики, при которых будет происходить процесс роспуска состава с сортировочной горки (температура, скорость ветра, направление ветра и день недели соответственно). Столбцы с пятого по одиннадцатый предназначены для ввода значений основных факторов состава. Два последних столбца предназначены для фактического и спрогнозированного времени роспуска соответственно.

Перед подготовительным этапом к программе подключаются необходимые для работы с интерфейсной платформой библиотеки. В нашем случае это библиотека Python-docx для работы с текстовыми документами расширения docx и doc. Происходит настройка параметров обработки данных в пользовательской среде и интеграция внешних носителей.

Рассмотрим применение СЭМП для прогнозирования времени роспуска состава с горки железнодорожной станции Витебск. Для проведения исследования были выбраны семь основных влияющих факторов:

$\Phi_1$  – вес состава;

$\Phi_2$  – число порожних вагонов в составе;

$\Phi_3$  – общее число вагонов в составе;

$\Phi_4$  – число отцепов;

$\Phi_5$  – число отцепов, не подлежащих роспуску;

$\Phi_6$  – сложность роспуска из-за занятости путей сортировочного парка;

$\Phi_7$  – сложность роспуска из-за взаимного неблагоприятного расположения

отцепов с различными ходовыми характеристиками.

Первые пять факторов выбираются из данных натурального листа и сортировочного листка расформировываемого поезда. Шестой и седьмой факторы определяются по приведенным ниже формулам:

$$\Phi_6 = \sum_{n=1}^N \frac{m^n}{m_{\text{росп}}^n} \cdot \frac{m^n}{m_{\text{св}}^n} = q, \quad (7)$$

где  $q$  – условный результат;  $n$  – число путей, на которые направляются отцепы.

Для расчета  $\Phi_7$  предлагается весь парк вагонов разделить по ходовым характеристикам на девять групп. Для этого создадим классификатор для каждого типа вагона, веса груза, длины вагона.

Код бегуна для отцепа в целом рассчитывается как средневзвешенное (по массе брутто) значение кодов всех вагонов отцепа. Как известно, сложность роспуска увеличивается при нагоне бегуна с худшими характеристиками более хорошим бегуном. В этом случае разность между кодом предыдущего бегуна и следующего за ним будет положительной. Умножив разность на число стрелок совместного маршрута следования в горочной горловине  $n_c$ , мы получаем интегрированную оценку сложности  $\Phi_7^c$ . Для всего состава:

$$\Phi_7 = \sum_c \Delta n_c = \sum_{c=1}^c \Phi_7^c, \quad (8)$$

Воспользуемся разработанной программой для составления прогноза продолжительности роспуска составов с сортировочной горки станции Витебск на период с 21.03.2022/08:00 по 22.03.2022/08:00. Исходные данные взяты из телеграмма-натурных и натурно-сортировочных листов, а также исполненного плана-графика работы станции за исследуемый период. Результаты работы программы представлены на рисунке 2.

МАССИВ ОПЫТА

-2	1	1	среда	2103	19	62	4	0	0,4	2	16	17,7
0	1	1	среда	2230	6	60	6	2	0,5	19	20	19,3
-1	1	1	среда	1970	15	43	14	0	0,6	11	18	18,5
-4	1	0	четверг	1669	0	37	6	0	0,5	4	14	16,4
0	2	0	четверг	1782	1	44	4	3	0,4	2	16	18,3
2	2	0	четверг	1990	12	55	13	2	0,7	7	16	19,0
2	3	0	четверг	1450	47	47	9	0	0,6	11	18	15,6
2	0	1	четверг	2340	10	56	10	1	0,5	6	13	15,7
1	0	0	пятница	2160	14	47	6	1	0,6	5	20	22,4
3	4	1	пятница	2390	6	52	15	1	0,7	5	22	21,9
0	4	0	пятница	1980	10	43	10	3	0,5	18	21	22,7
5	4	0	пятница	1783	7	44	6	2	0,6	5	22	25,9
5	3	1	пятница	2010	22	43	15	0	0,5	10	18	17,4
7	3	1	пятница	1890	10	50	13	0	0,4	3	16	19,0
1	3	1	пятница	2110	23	52	4	1	0,7	11	20	21,4
7	2	0	пятница	1970	14	63	9	0	0,6	15	18	22,7
2	1	1	пятница	2532	6	78	11	0	0,8	2	14	16,3
2	0	0	пятница	1690	25	59	4	3	0,6	5	14	18,9
4	4	1	суббота	1688	17	58	8	0	0,7	18	16	15,7
6	0	1	суббота	2112	2	61	7	1	0,5	4	18	19,3
5	1	1	суббота	1980	17	66	3	1	0,6	3	18	19,6
5	1	0	суббота	2110	10	59	7	3	0,5	11	20	19,7
4	3	0	воскресенье	1769	44	44	3	0	0,4	13	22	20,3
3	2	0	воскресенье	2005	10	53	11	0	0,7	23	21	23,5
-1	0	1	воскресенье	1950	4	61	5	3	0,6	11	22	21,8
-1	0	1	воскресенье	2015	27	72	8	4	0,5	23	18	21,7
-6	2	1	понедельник	2340	6	61	11	4	0,8	12	25	29,5
4	1	0	вторник	1950	13	61	8	0	0,4	7	20	18,4
3	4	0	вторник	2390	6	52	15	1	0,7	5	22	18,2
10	4	1	понедельник	1465	21	67	8	1	0,6	11	21	20,0
10	4	1	пятница	1465	21	67	8	1	0,6	11	23	19,7
10	4	1	понедельник	1465	21	67	8	1	0,6	11	19	20,4
-8	3	1	вторник	3420	12	79	13	3	0,5	4	34	30,3
7	3	1	пятница	1890	10	50	13	0	0,4	3	18	19,4
-6	2	1	понедельник	2340	6	61	11	4	0,6	12	21	22,2
4	0	0	суббота	1980	17	66	3	1	0,6	3	23	23,7
-7	2	1	понедельник	1210	17	36	2	3	0,6	7	11	9,2
-5	2	1	понедельник	735	6	9	3	0	0,4	9	5	2,1
-5	1	1	понедельник	1835	14	53	5	2	0,6	5	20	19,1
-5	0	0	понедельник	1100	8	32	2	0	0,4	2	10	11,1
-6	0	0	понедельник	3120	34	65	11	4	0,7	15	23	23,9
-8	2	1	понедельник	1480	29	47	6	1	0,8	9	18	17,1
-5	2	1	понедельник	3780	52	67	8	4	0,6	18	19	21,0
-3	0	1	понедельник	820	6	15	2	2	0,5	1	5	4,2
0	2	1	понедельник	3040	18	69	6	1	0,6	11	30	27,8
-2	1	1	понедельник	3540	26	64	10	2	0,6	15	38	33,8
-2	1	1	вторник	1650	5	21	4	1	0,5	4	8	7,7
1	0	0	вторник	1310	11	41	4	1	0,5	5	14	14,2
0	1	0	вторник	1265	20	40	6	0	0,6	6	15	13,9
-3	0	0	вторник	1640	6	33	8	3	0,6	11	15	15,7

Рисунок 2 – Результаты работы программы для составов, прибывающих в расформирование в исследуемый период

Фрагмент результатов прогнозирования ПВТО в ИСУПН приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Отклонение от фактического времени отпуска состава

Номер поезда	Фактическое время на отпуск состава	Отклонение от фактической продолжительности отпуска составов, %		Отклонение от фактической продолжительности отпуска составов, мин	
		нормированное время	прогноз	нормированное время	прогноз
2108	11	+30,9	-16,3	+3,4	-1,8
3603	5	+128,0	-58,0	+9,4	-2,9
2223	20	-28,0	-4,5	-5,6	-0,9
3803	10	+44,0	+11,0	+4,4	+1,1
3805	23	-56,0	+2,7	-18,6	+0,9
3005	18	-18,0	-5,0	-3,6	-0,9



## Окончание таблицы 2

Номер поезда	Фактическое время на роспуск состава	Отклонение от фактической продолжительности роспуска составов, %		Отклонение от фактической продолжительности роспуска составов, мин	
		нормированное время	прогноз	нормированное время	прогноз
2225	19	-71,2	+2,0	-35,6	+1,0
3052	5	+128,0	-16,0	+9,4	-0,8
3601	30	-52,0	-7,3	-15,6	-2,2
3801	38	-62,1	+11,1	-23,6	+4,2
3802	8	+80,0	-3,8	+6,4	-0,3
3805	14	+2,9	+1,4	+0,4	+0,2
3812	15	-4,0	-7,3	-0,6	-1,1
3803	15	-4,0	+4,6	-0,6	+0,7

В результате моделирования установлено, что использование предложенного модуля прогнозирования ПВТО повышает точности планирования до 25 % по сравнению с существующими методами, а отклонения свыше 10 % процентов от фактических значений наблюдаются менее, чем в 14 % случаев.

Разработанные методика и программный модуль могут быть использованы как при прогнозировании продолжительности выполнения операций горочного технологического цикла, так и других операций с вагонами и составами: осмотр составов бригадами ПКО, выполнение погрузочно-разгрузочных работ, окончание формирования составов и др.

### Список литературы

- 1 Кузнецов, В. Г. Техническое нормирование маневровой работы : учеб.-метод. пособие / В. Г. Кузнецов, Ф. П. Пищик. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 83 с.
- 2 Тулупов, Л. П. Автоматизированные системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : учеб. пособие для вузов / Л. П. Тулупов, Е. М. Жуковский, А. М. Гусятинер. – М. : Транспорт, 1991. – 208 с.
- 3 Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин ; пер с англ. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2006. – 1104 с.
- 4 Ерофеев, А. А. Прогнозирование продолжительности выполнения технологических операций в интеллектуальной системе управления перевозочным процессом / А. А. Ерофеев, С. Ю. Чапский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 2 (45). – С. 60–64.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

- Ерофеев Александр Александрович, г. Гомель, УО «Белорусский государственный университет транспорта», проректор по учебной работе, канд. техн. наук, доцент, [erofeev\\_aa@bsut.by](mailto:erofeev_aa@bsut.by);
- Чапский Сергей Юрьевич, г. Гомель, УП «Витебское отделение Белорусской железной дороги», выпускник факультета «Управление процессами перевозки» УО «Белорусский государственный университет транспорта», [keter-sis@yandex.ru](mailto:keter-sis@yandex.ru).