

УДК 658.7 : 656 + 06

О. Н. ЧИСЛОВ, Д. С. БЕЗУСОВ

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

o_chislov@mail.ru, iren306@yandex.ru

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИПОРТОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ПРИНЦИПАХ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается аналитический подход к моделированию работы припортовых железнодорожных станций с целью выявления общесистемных закономерностей эксплуатации, аксиоматики транспортных процессов, выбору рациональных параметров системы «станция – порт» и сокращению простоя местных вагонов.

В структуре экспортного грузопотока в 2020 г. на припортовой Северо-Кавказской железной дороге – филиал ОАО «РЖД» доля нефтегрузов составила 32,8 %, угля – 22,3 %, черных металлов – 14,4 %, зерна – 12,5 %, железной руды – 6,5 %, удобрений – 4,5 %. В текущем году на двух припортовых станциях СКЖД была достигнута рекордная выгрузка: 16 марта на станции Вышестеблиевская было выгружено 1230 ваг., а 5 мая в Туапсе – 1109 ваг.

Несмотря на неустойчивую рыночную конъюнктуру погрузка экспортных грузов в адрес портов Азово-Черноморского бассейна выросла на 2,5 % в январе – сентябре 2020 г. и составила 56,4 млн т, увеличившись по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 2,5 %. Так, в адрес припортовой станции Новороссийск за 9 месяцев отправлено 23,7 млн т экспортных грузов (–0,5%), Туапсе – 11,7 млн т (+4,8 %), Вышестеблиевская (порт Тамань) – 9,7 млн т (+61,2 %), Грушевая – 4,1 млн т (–22,1 %).

Грузооборот морских портов Азово-Черноморского бассейна составил 185,4 млн т (–3,2 %), из них объём перевалки сухих грузов составил 79,6 млн т (+12,6 %), наливных грузов – 105,8 млн т (–12,4%). Грузооборот портов Новороссийск составил 105,4 млн т (–9,7 %), Туапсе – 19,0 млн т (+10,3 %), Тамань – 15,2 млн т (+40,2 %), Кавказ – 16,2 млн т (+0,7 %), Ростов-на-Дону – 12,9 млн т (+8,1 %) [1].

По-прежнему актуальна проблема поиска эффективных форм взаимодействия железнодорожных припортовых станций и морских портов, повышение объемов перевалки грузов на принципах рациональной организации станционных транспортно-технологических процессов [2].

Отечественная научная школа расчета, проектирования и моделирования железнодорожных станций имеет глубокие исторические корни: основы были заложены на рубеже XIX–XX вв. трудами выдающихся ученых-транспортников – Ф. А. Галицкого, С. Д. Карейши, А. Н. Фролова, В. Н. Образцова, Е. А. Гибшмана и др.; развиты в 50–60 годах научными работами П. В. Бартенева, В. Д. Никитина, М. С. Гликмана и др.; продолжены в 70–80-х годах исследованиями Н. И. Федотова, Н. Н. Шабалина, В. М. Акулиничева, И. Г. Тихомирова, П. С. Грунтова, И. Б. Сотникова, П. А. Козлова и др. Существенный вклад в железнодорожную науку внесли исследования кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» БелГУТа (БелИИЖТ) под руководством проф. Н. В. Правдина, теоретические исследования Петербургской школы ученых-станционников под руководством проф. Ю. И. Ефименко [3–5].

В настоящее время в связи цифровизацией и интеллектуализацией транспортно-технологических процессов четвертой индустриальной революции наука и практика моделирования железнодорожных станций и узлов переживает новый этап развития на принципах формирования цифровых двойников транспортных объектов.

Одним из перспективных подходов для данного направления являются аналитические методы моделирования, основанные на аппарате компьютерной алгебры и общих закономерностях станционных транспортных процессов, рациональных с точки зрения конкретных условий работы [6, 7].

В постановке задачи аналитического моделирования станционных процессов необходимо минимизировать суммарное время простоя местного вагона при рациональной загрузке инфраструктурных элементов припортовой станции. Для этого формируется конечное множество технологических блоков по вариантам переработки заданного вагонопотока.

Алгоритм решения задачи следующий: 1 – задание схемы припортовой станции в парках, осях путей и набором технико-технологических параметров (рисунок 1); 2 – формирование транспортно-технологической схемы (ТТС) станции по авторской методике (рисунок 2) [8, 9]; 3 – формирование модельной схемы-графа станции (МСС) (рисунок 3); 4 – формирование одномерных массивов данных параметров технологических блоков (таблица 1); 5 – формирование вероятностной матрицы связей станционных процессов и модулей путевого развития станции (таблица 2); 6 – формирование перечня вариантов станционных транспортных процессов (аксиомат станционных передвижений) для заданных вариантов связей модулей путевого развития (рисунок 4); 7 – исследование параметров возможных вариантов транспортных процессов средствами компьютерной алгебры и программной среды *Maple*; 8 – формирование эффективной станционной инфраструктуры во взаимосвязи с рациональными транспортными процессами для заданных условий эксплуатации системы «станция – порт».

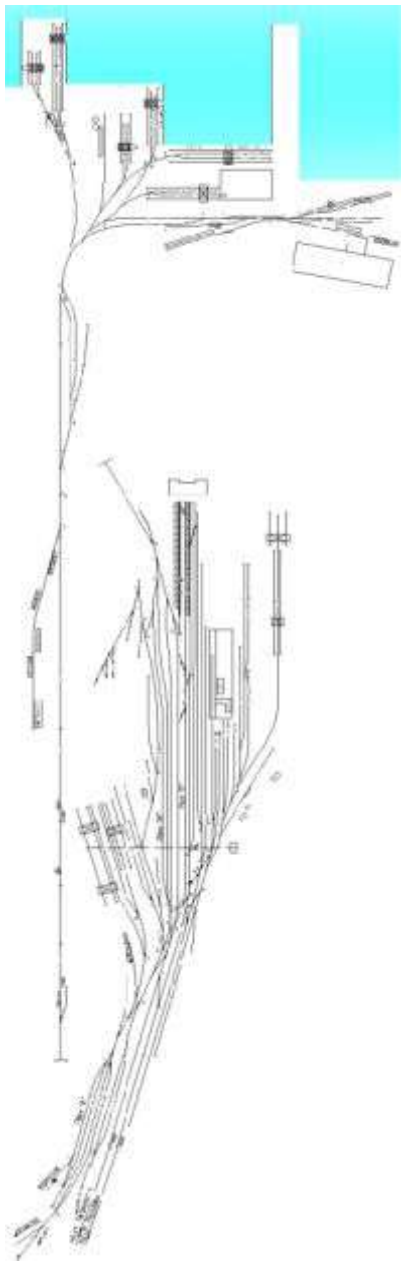


Рисунок 1 – Схема припортовой станции «Т»

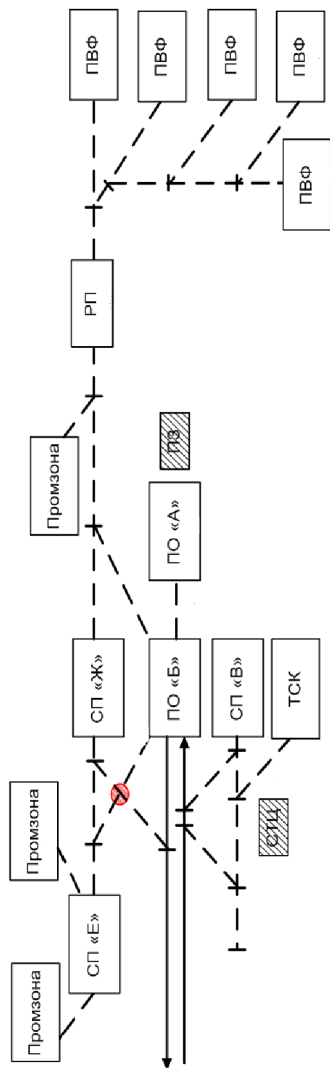


Рисунок 2 – Транспортно-технологическая схема станции «Т»

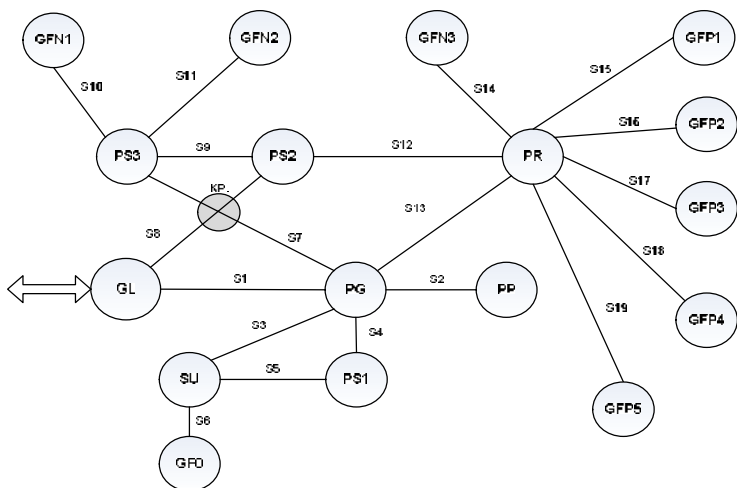
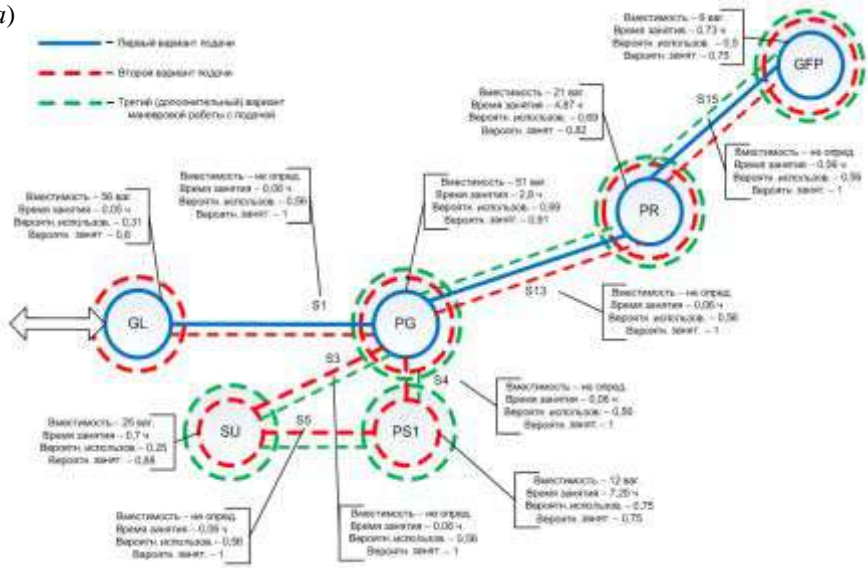


Рисунок 3 – Модельная схема припортовой станции «Г»

Таблица 1 – Ведомость показателей блоков МСС

Наименование устройства (блока)	Обозначение устройства	Пропускная способность, ваг/ч	Время занятия, ч	Вероятность использования устройства	Вероятность занятости устройства	Вероятность свободности устройства
Подход главных путей, GL	g	135	0,05	0,31	0,8	0,25
Парки, PP-1, PG-2	p_1	13	4,4	0,56	0,94	0,06
	p_2	104	2,8	0,69	0,91	0,1
Три сортировочных парка, PS-1, 2, 3	s_1	15	7,25	0,75	0,75	0,33
	s_2	32	2,9	0,75	0,75	0,33
	s_3	74	0,5	0,75	0,75	0,33
Один парк, PR	r	11	4,87	0,69	0,82	0,22
Устройство, SU	u	60	0,7	0,25	0,88	0,14
Грузовой фронт, GFO	o	6	9,45	0,5	0,75	0,33
Три грузовых фронта, GFN-1, 2, 3	n_1	5	11,83	0,5	0,75	0,33
	n_2	6	8,45	0,5	0,75	0,33
	n_3	9	5,5	0,5	0,75	0,33
Пять грузовых фронтов порта, GFP-1, ..., 5	f_1	6-7	0,73	0,5	0,75	0,33
	f_2	5-7	0,7	0,5	0,75	0,33
	f_3	10-12	0,8	0,5	0,75	0,33
	f_4	10-12	4	0,5	0,75	0,33
	f_5	19	0,7	0,5	0,75	0,33
Прочие пути	S_i	150	0,06	0,56	1	0

а)



б)

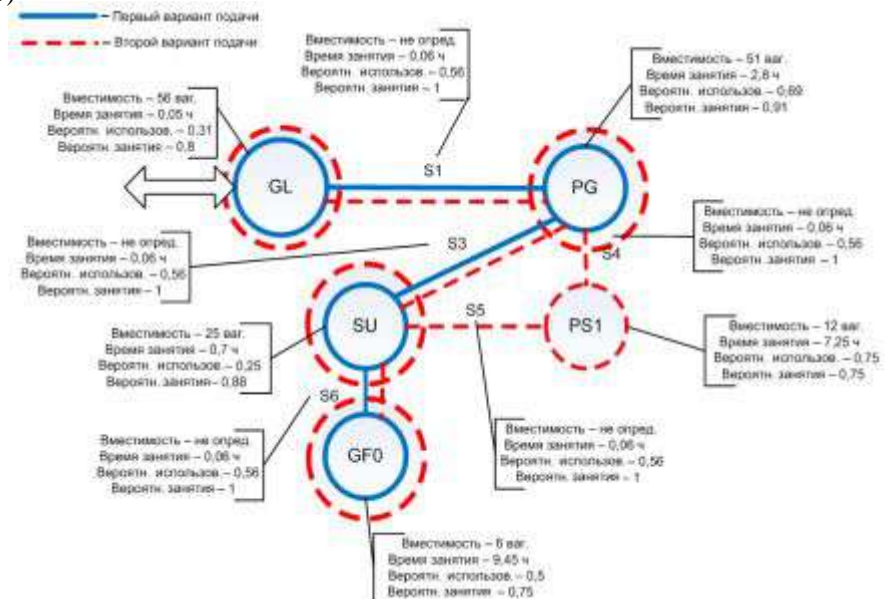


Рисунок 4 – (начало) – Аксиоматы станционных передвижений для заданных вариантов связей модельных схем маршрутов:

а – GFP-причалы порта; б – GF0-грузовой двор

6)

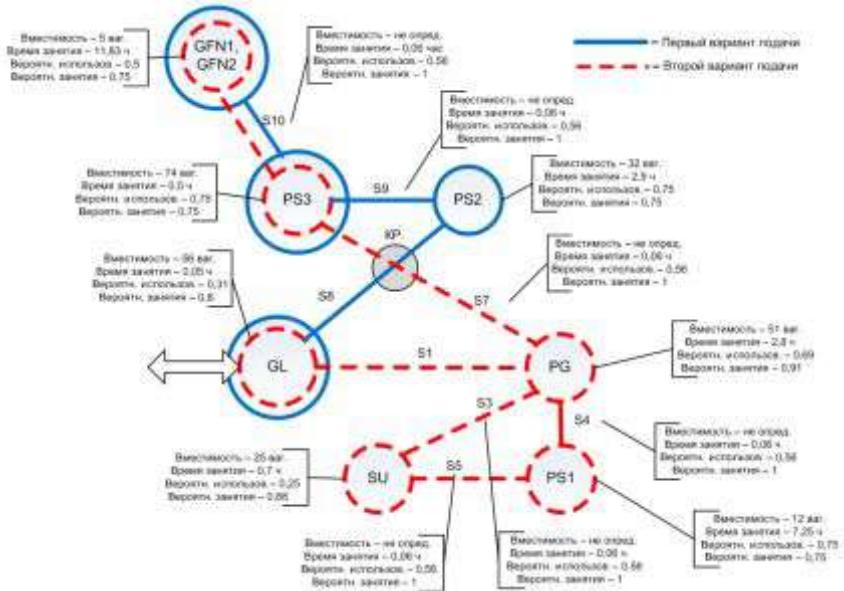


Рисунок 4 – (окончание) – Аксиоматы станционных передвижений для заданных вариантов связей модельных схем маршрутов:

6 – GFN1, 2 - предприятия

На модельной схеме станции показаны: главный ход (GL), два приемоотправочных парка (PP – пассажирский, PG – грузовой), три сортировочных парка (PS), один районный парк порта (PR), одно малое сортировочное устройство (SU), один грузовой фронт мест общего пользования (GFO) станции, три грузовых фронта мест необщего пользования (GFN) предприятий, пять грузовых фронтов порта (GFP), KP – критическое одноуровневое пересечение маршрутов.

Рассмотрим грузовую работу станции «Т», на которую ежедневно прибывают 1–2 грузовых поезда. Вагоны подаются на грузовые пункты станции, предприятий и порта в количестве, соответствующем вместимости путей. За установленный период (сутки) необходимо обеспечить переработку всех прибывших местных вагонов при минимуме общего времени простоя.

Рассмотрим аксиоматы станционных передвижений (см. рисунок 4, а–в).

Например: маршрут (см. рисунок 4, а) = {главный путь, соединительный ход, парк грузовой, соединительный ход, сортировочное устройство, соединительный ход, сортировочный парк 1-й, соединительный ход, парк грузовой, соединительный ход, парк районный порта, соединительный ход, грузовой фронт порта}.

На грузовом фронте порта вагоны находятся в течение времени выполнения грузовых операций (без учета непроизводительных простоев), затем маршрут повторяется в обратной последовательности.

Таблица 2 – Ведомость вероятностей связей технологических операций и инфраструктурных модулей припортовой станции

Технологические операции	Мод.	GL	PP	PG	PS1	PS2	PS3	PR	SU	GF0	GFN1	GFN2	GFN3	GFP1	GFP2	GFP3	GFP4	GFP5	Si	
Прибытие-отправление пассажирского поезда	T1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Посадка-высадка пассажиров	T2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Прибытие-отправление маршрутного грузового поезда	T3	1	0	1	1/2	1/2	1/2	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Прибытие-отправление сборного грузового поезда	T4	1	0	1	1/2	1/2	1/2	1/2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Принем (выдача) багажа	T5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Прицепка-отцепка группы вагонов	T6	0	1/2	1	1	1	1	1	0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1
Перестановка группы вагонов (состава)	T7	1/2	1	1	1	1	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1
Расформирование (формирование) состава (группы)	T8	0	0	1/2	1	1	1	1/2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Принем (сдача) состава (группы) вагонов	T9	0	0	1/2	1/2	1/2	1/2	1	0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0
Технический осмотр состава (группы вагонов)	T10	0	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0
Коммерческий осмотр состава (группы вагонов)	T11	0	0	1	1/2	1/2	1/2	1	0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0
Расстановка (сборка) вагонов	T12	0	0	0	1/2	1/2	1/2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Погрузка (выгрузка) вагонов	T13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Заезд (выезд) маневрового (поездного)	T14	1/2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Прицепка (отцепка) маневрового локомотива	T15	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Накопление вагонов в ожидании операций	T16	0	1	1	1	1	1	1	0	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	0
Сумма технологических операций	Σ-16	5	9	11	12	12	12	11	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	
Вероятность использования модуля	P_M	0,31	0,56	0,69	0,75	0,75	0,75	0,69	0,25	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,56
Вероятность загрузки модуля	P_з	0,8	0,94	0,91	0,75	0,75	0,75	0,82	0,88	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1
Резерв свободности модуля	R_ц	20%	6%	9%	25%	25%	25%	18%	12%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	0%
Время занятия модуля	t_з	0,05	4,4	2,8	7,25	2,9	5,5	2,9	0,7	9,45	11,83	8,45	5,5	0,79	0,7	0,8	4	0,7	0,05	
Энтропия модуля	H	0,722	0,327																	
Относительная организация модуля	R	0,69	0,9																	

Вследствие объемных вычислительных процедур при многовариантности разложения подвижного состава по грузовым пунктам и условий подачи уборок разработана авторская программа расчета времен в среде *Maple*, фрагмент которой представлен ниже:

```
> N:=1000: for a1 from 8 to 10 do
for a2 from a1 to 10 do
for b1 from 8 to 10 do
for b2 from b1 to 10 do
t:=0: s1:=0:s11:=0:s12:=0:s13:=0: s2:=0:s21:=0:s22:=0:s23:=0:
for i from 1 to N do
M1:=RandomTools[Generate](integer(range=1..10), method=uniform):
M2:=RandomTools[Generate](integer(range=1..10), method=uniform):
if M1()<=a1 then t1a:=tgl+ts1+tpg:
t1b:=ts13+tp: t1c:=ts13+tp+3*ts15+tgfp1:
s11:=s11+1: T1:=t1a+t1b+t1c:
elif M1()<=a2 then t2a:=tgl+ts1+tpg:
t2b:=ts3+tsu+2*ts5+2*tps1+ts4:
t2c:=ts13+tp+2*ts15+tgfp1: s12:=s12+1: T1:=t2a+2*t2b+t2c:
else t3a:=tgl+ts1+tpg:
t3b:=ts3+tsu+2*ts5+2*tps1+ts4:
t3c:=ts13+tp+2*ts15+tgfp1: s13:=s13+1: T1:=t3a+t3b+t3c:
fi: s1:=s1+1:
if M2()<=b1 then t1a:=tgl+ts1+tpg:
t1b:=ts13+tp: t1c:=ts13+tp+3*ts15+tgfp1:
s21:=s21+1: T2:=t1a+t1b+t1c:
elif M2()<=b2 then t2a:=tgl+ts1+tpg:
t2b:=ts3+tsu+2*ts5+2*tps1+ts4:
t2c:=ts13+tp+2*ts15+tgfp1: s22:=s22+1: T2:=t2a+2*t2b+t2c:
else t3a:=tgl+ts1+tpg:
t3b:=ts3+tsu+2*ts5+2*tps1+ts4:
t3c:=ts13+tp+2*ts15+tgfp1: s23:=s23+1: T2:=t3a+t3b+t3c:
fi: t:=t+T1+T2: s2:=s2+1: s:=s1+s2:
tmtb:=t/N: #print(M1(),a1,a2,T1): #print(M2(),b1,b2,T2): od:
#print(tmtb):
print(tmtb,evalf(s11/s1),evalf(s12/s1),evalf(s13/s1),evalf(s21/s2),evalf(s22/s2),evalf(s23/s2)): od: od: od: od:
```

В результате работы программы получено около более шестидесяти значений времен станционных транспортных процессов только по первому варианту (см. рисунок 4, а) переработки вагонопотока. Минимальное время простоя местного вагона составило 27,4 ч. Программа позволяет учитывать стохастические факторы, увеличивающие и снижающие общее время простоя местного вагона.

Для оценки эффективности транспортных процессов припортовой железнодорожной станции помимо общепринятых показателей (грузооборот, норма рабочего парка, простоя местного вагона, средняя статическая на-

грузка вагона и др.) предлагается использовать модифицированные динамические показатели [3]:

– скорость транспортных процессов

$$W_{\text{мсс}}^{\text{ср}} = \frac{1}{n_{\text{мсс}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{мсс}}} \left(P_{\text{ни}} e^{-\left(N_{\text{пр}i} \cdot t_{\text{пр}i} + N_{\text{от}i} \cdot t_{\text{от}i} \right)} \right),$$

– размер транспортного действия по протяженности станционной инфраструктуры

$$R(L) = \frac{N_{\text{ваг}} L}{24}, \frac{\text{ваг} \cdot \text{км}}{\text{час}},$$

– плотность вагонопотока

$$P(L) = \frac{N_{\text{ваг}}}{L}, \frac{\text{ваг}}{\text{км}},$$

– грузовое давление на железнодорожную инфраструктуру

$$P(Q) = \frac{Q_{\text{пр}} + Q_{\text{от}}}{L}, \text{т/км}$$

– коэффициент использования пропускной способности по времени транспортных процессов железнодорожной инфраструктуры ПС

$$k_{\text{пс}} = \frac{(N_{\text{пр}} + N_{\text{от}}) \cdot W_{\text{мсс}} \cdot t_{\text{зан}}^{\text{ср вЗВ}}}{1440 \cdot \alpha_{\text{п}} \cdot \beta \cdot m_{\text{по}} - \sum T_{\text{пост}}}$$

В настоящее время продолжают исследования в области выбора обоснованных параметров транспортных процессов припортовых станций, нарабатывается по вариантам программный код аналитического моделирования транспортно-технологических процессов припортовых станций в реальных масштабах времени при изменении размеров грузо- и вагонопотоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ассоциация морских портов России [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.morport.com/rus>. – Загл. с экрана.

2 Мировые тенденции развития морских портов, припортовых железнодорожных узлов и подходов к ним / А. А. Краснощек, А. Ю. Панычев, П. К. Рыбин // РИЛТТРАНС-2017: сборник трудов Второй междунар. науч.-практ. конф. – СПб, 2018. – С. 3–11.

3 Железнодорожные узлы: схемные решения, транспортная работа и их оценка [монография] / О. Н. Числов [и др.] // ФГБОУ ВО «Рост. гос. ун-т путей сообщения». – Ростов н/Д, 2016. – 228 с.

4 Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов : [монография] / Ефименко Ю. И. [и др.] – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – 243 с.

5 Правила и технические нормы проектирования станции и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М.: Техинформ, 2001. – 256 с.

6 *Персианов, В. А.* Моделирование транспортных систем / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков. – М.: Транспорт, 1978. – 208 с.

7 *Виноградов, И. М.* Математическая энциклопедия: т. 5. – М.: Советская Энциклопедия, 1982. – 623 с.

8 Числов, О. Н. Транспортно-технологические модели припортовых железнодорожных станций / О. Н. Числов, Д. С. Безусов // Вестник РГУПС. № 4 (68). – 2017. – С. 101–110.

9 Числов, О. Н. Аксиоматика транспортных процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, В. В. Ильичева, Д. С. Безусов // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. № 6. – С. 73–81.

O. N. CHISLOV, D. S. BEZUSOV

DIRECTIONS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION PROCESSES OF PORT RAILWAY STATIONS ON THE ANALYTICAL MODELING PRINCIPLES

It is known that port railway stations are complex transport and technological systems consisting of a complex of interconnected subsystems. The selection, modeling and substantiation of rational parameters of their transport processes is of paramount importance in modern conditions of digitalization of railway transport. The article discusses an analytical approach to modeling the operation of port railway stations in order to identify system-wide patterns of operation, axiomatics of transport processes, the choice of rational parameters of the "station-port" system and reduce the downtime of local cars.

Получено 19.10.2020

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2020**

УДК 656.2

Ж. ЯНЕВ, Е. А. ОВЧИННИКОВА, Н. О. БЕРЕСТОК
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
zivkoacter@yahoo.com

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНЦИИ В ПРОГРАММЕ ИСУЖТ

Рассмотрен математический алгоритм создания цифровой топологической модели железнодорожной станции в рабочем окне программы «ИСУЖТ». Математический алгоритм построен на основе теории множеств, а также представлен пример отображения подмножеств с помощью кругов Эйлера. Разработаны этапы оцифровки топологических моделей станций и выявлено основное правило объединения элементов. Получено имитационное отображение схемы станции и описание технологии работы с помощью блок-схемы.