

УДК 656.212.5

*Д. Н. КОЗАЧЕНКО, С. В. ГРЕВЦОВ, Т. В. БОЛВАНОВСКАЯ***УПРАВЛЕНИЕ РОСПУСКОМ СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ С НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫМИ ПАРКОВЫМИ ТОРМОЗНЫМИ ПОЗИЦИЯМИ**

Наведена методика вибору параметрів розпуску составів на сортувальних гірках з немеханізованими гальмівними позиціями, яка дозволяє на етапі планування розпуску оцінити ймовірності несприятливих ситуацій, в тому числі пов'язаних з роботою регулювальників швидкості вагонів, і звести їх до допустимих значень за рахунок вибору швидкості розпуску і його переривання. Результати дослідження можуть використовуватися для вирішення оперативних і технологічних задач пов'язаних з гірковими операціями.

Ключові слова: сортувальна гірка; немеханізована гальмова позиція; регулювальник швидкості вагонів; сортувальний процес; розформування составів.

Приведена методика выбора параметров роспуска составов на сортировочных горках с немеханизованными тормозными позициями, которая позволяет на этапе планирования роспуска оценить вероятности неблагоприятных ситуаций, в том числе связанных с работой регулировщиков скорости вагонов, и свести их к допустимым значениям за счет выбора скорости роспуска и его прерывания. Результаты исследования могут использоваться для решения оперативных и технологических задач, связанных с горочными операциями.

Ключевые слова: сортировочная горка; немеханизованная тормозная позиция; регулировщик скорости вагонов; сортировочный процесс; расформирование составов.

The method of parameters' choosing for humping process on gravity humps with non-mechanized braking positions is given. The purpose of the study is to improve the working conditions of skatemans and determination of cuts permissible braking modes on sorting humps with non-mechanized braking positions. The main research methods, that were used to solve the problem, are mathematical simulation of the cuts' rolling and statistical analysis. The proposed methodology allows, at the planning stage of the breaking-up process, to assess the probability of adverse situations, including those related to the operation of skatemans, and reduce them to allowable values by choosing the humping speed and interrupting of humping process. The results of the research can be used both for solving operational problems related to the humping process control, and for solving technological problems which interrelated with humping operations.

Keywords: sorting hump; non-mechanized braking positions; skateman; marshaling process; train breaking-up.

Введение. Основным средством расформирования-формирования составов на железных дорогах являются сортировочные горки. Качество их работы во многом определяет как себестоимость перевозочного процесса, так и его безопасность, сохранность подвижного состава и перевозимых грузов. В этой связи исследования, направленные на совершенствование методов управления роспуском составов, являются актуальными для железнодорожного транспорта Украины. Необходимо отметить, что современные методы исследования сортировочного процесса ориентированы на сортировочные горки с механизированными и автоматизированными тормозными позициями. В то же время на железнодорожных станциях Украины эксплуатируется 117 сортировочных горок, из которых только 31 имеет механизированные тормозные позиции. На 15 механизированных сортировочных горках замедлители установлены как на спускной части, так и на сортировочных путях. На 16 сортировочных горках парковые тормозные позиции не механизированы. Таким образом, для 87% сортировочных горок актуальной является задача организации их работы в условиях башмачного торможения. Более того, в условиях износа и частичной неисправности тормозных замедлителей дополнительное башмачное торможение интенсивно применяется и на сортировочных горках, у которых механизированы все тормозные позиции. Основным преимуществом использования тормозных башмаков для регулирования скорости скатывания отцепов являются относительно низкие капитальные затраты и эксплуатационные расходы, а также возможность гибко регулировать последние в зависимости от объемов работы без ущерба для безопасности сортировочного процесса. Недостатки башмачного торможения связаны с

нахождением людей в опасной зоне и возможностью повреждения вагонов при движении «юзом». Поэтому методы выбора параметров процесса расформирования составов на сортировочных горках с немеханизованными тормозными позициями должны учитывать особенности их работы.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Сортировочная горка представляет собой сложный инфраструктурный и технологический комплекс, при эксплуатации которого взаимодействуют железнодорожный путь, системы автоматики, телемеханики и связи, маневровые локомотивы, вагоны, грузы, производственный персонал, что повышает сложность проблемы обеспечения безопасности движения. Безопасность и качество сортировочного процесса определяются как конструкцией и техническим оснащением сортировочных горок, так и качеством управленческих решений относительно режимов роспуска. Основным методом исследования горочных процессов является имитационное моделирование скатывания отцепов [1, 2]. Выбор режимов торможения отдельных отцепов представляет собой сложную многофакторную задачу, в результате решения которой должны быть обеспечены требования как прицельного, так и интервального регулирования скорости скатывания вагонов. Особенностью горочных процессов является влияние значительного числа случайных факторов [3, 4], таких как масса и основное сопротивление движению отцепов, параметры внешней среды и величина тормозного воздействия замедлителей. С целью учета ограничений, которые накладываются на режимы торможения отцепов, в [5] предложена методика построения области допустимых режимов торможения (ОДР). Режимы торможения отцепов взаимосвязаны из-за необходимости выполнения требова-

© Д. Н. Козаченко, С. В. Гревцов, Т. В. Болвановская. 2017

ний интервального регулирования скорости их скатывания. Методы выбора режимов торможения отцепов представлены в [6, 7]. Однако, необходимо отметить, что все указанные методы ориентированы на их использование в основном на автоматизированных горках. Характерными условиями работы сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями являются, во-первых, ручное управление процессом торможения на основе данных перевозочных документов, а также визуальной оценки ходовых характеристик отцепов и условий их скатывания, что вызывает погрешности как на этапе определения оптимальных режимов торможения, так и их реализации; во-вторых, функционирование сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями связано с нахождением людей в опасной зоне, что резко повышает требования к безопасности сортировочного процесса [8]. В этой связи, для сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями значительную роль играет этап планирования роспуска, на котором должны быть установлены неблагоприятные сочетания отцепов и приняты меры по обеспечению безопасного протекания сортировочного процесса.

Цели и задачи исследования. Цель исследования состоит в повышении эффективности процесса расформирования составов за счет совершенствования методов управления скоростью скатывания отцепов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями. Поставленная цель достигается путем исследования факторов, влияющих на качественные показатели роспуска, и разработки методов поиска оптимальных управляющих параметров для каждого расформируемого состава.

Формализация задачи выбора параметров роспуска состава на сортировочной горке. В данной работе рассматриваются сортировочные горки с механизированными тормозными позициями на спускной части и немеханизированными тормозными позициями на сортировочных путях. Также принято, что распределение регулировщиков скорости вагонов между сортировочными путями является фиксированным. В соответствии с [9] расформирование состава рассматривается как многошаговый процесс, где отдельным шагом является скатывание очередного отцепа. В качестве управляемых параметров при расформировании состава приняты:

– число отцепов в группе, которая расформируется без перерыва в роспуске $g_s, s=1..S$ (здесь S – число групп отцепов в составе);

– скорость роспуска группы отцепов $v_{p,s}$;

– скорости выхода отцепов из тормозных позиций $v_j \in \mathbf{V}, j=1..n$.

В качестве критерия оптимизации принято время расформирования состава

$$T_p = \sum_{s=1}^S T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V}) + (S-1)t_{\text{пер}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $T_{p,s}(v_{p,s}, \mathbf{V})$ – продолжительность роспуска вагонов s -й группы отцепов в зависимости от скорости ее роспуска $v_{p,s}$ и режимов торможения

отцепов \mathbf{V} ; $t_{\text{пер}}$ – продолжительность перерыва в роспуске после расформирования s -й группы отцепов.

Указанная задача имеет следующие ограничения:

$$\begin{cases} v_{\min} \leq v_{p,s} \leq v_{\max} \\ \delta t_{kjh}(v_{p,s}, \mathbf{V}) \geq t_{\text{pe},h} \\ \mathbf{v}_j \in \Omega_{nj}(v_{p,s}) \end{cases} \quad (2)$$

где v_{\min}, v_{\max} – допустимые минимальная и максимальная скорости роспуска; δt_{kjh} – разделительный интервал между k -м и j -м отцепами на h -м разделительном элементе; Ω_{nj} – область допустимых режимов торможения j -го отцепа.

Решение задачи (1) при ограничениях (2) может быть сведено к итерационной процедуре решения задач следующих типов:

– разбиение состава на группы при фиксированной скорости роспуска и установленном распределении регулировщиков скорости вагонов по сортировочным путям;

– определение максимально допустимой скорости роспуска группы отцепов;

– оптимизация деления состава на группы отцепов.

Необходимость обеспечения разделения отцепов на разделительных элементах формируют условия интервального регулирования скорости скатывания отцепов. Разделительными элементами при этом выступают:

– стрелочные переводы, на которых должны быть обеспечены интервалы времени, достаточные для их перевода и формирования установленных маршрутов следования отцепов;

– замедлители механизированных тормозных позиций, на которых должны быть обеспечены интервалы времени, достаточные для их затормаживания или растормаживания;

– регулировщики скорости движения вагонов, для которых должно быть обеспечено время, достаточное для безопасного перехода между сортировочными путями.

В случае если никакие режимы торможения отцепа не обеспечивают разделение отцепа по маршруту скатывания с предшествующими, в роспуске должен быть предусмотрен перерыв с целью увеличения начального интервала на вершине горки.

Для иллюстрации разработанных методов рассмотрим расформирование состава из 25 отцепов на сортировочной горке большой мощности с 32 путями в подгорочном парке. Параметры указанного состава представлены в табл. 1.

Все множество случаев разделений отцепов на разделительных элементах может быть представлено в виде матрицы разделений, предлагаемая форма которой представлена в табл. 2. Таблица включает как первичные, так и вторичные разделения отцепов [10]. При построении табл. 2 принято, что регулировщики скорости вагонов обслуживают по четыре пути. В таблице выделены разделительные элементы, которые занимает отцеп в процессе скатывания. При этом знаки «+» и «-» указывают направление следования отцепа по стрелочному

переводу, а цифры указывают на предшествующий отцеп, с которым имеет место разделение.

Таблица 1 – Параметры расформируемого состава

№ отц	№ ваг	Тип	Весовая категория	$l_{\text{принц}}, \text{ м}$	Путь назначения	№ отц	№ ваг	Тип	Весовая категория	$l_{\text{принц}}, \text{ м}$	Путь назначения
1	1	ПЛ	42	412	4	12	18	ЦС	77	422	9
2	2	ПВ	71	467	9	13	19	ПВ	85	437	12
	3	ПВ	71			14	20	ПЛ	79	504	11
	4	ПВ	71				21	ПЛ	79		
3	5	ЦС	22	486	7	15	22	ПВ	30	474	7
4	6	КР	54	504	1	16	23	ПВ	38	397	4
	7	КР	54			17	24	ПВ	58	1085	2
5	8	ЦС	80	787	16	18	25	ПЛ	80	669	13
6	9	КР	65	492	5	19	26	ПВ	70	462	5
	10	КР	65			20	27	ПВ	78	1070	2
7	11	ПВ	90	764	15	21	28	КР	80	474	11
	12	ПВ	90			22	29	ПВ	46	595	3
	13	ПВ	90			23	30	ПВ	54	474	1
8	14	ПВ	22	682	6	24	31	ПВ	38	719	15
9	15	ЦС	87	681	13		32	ПВ	38		
10	16	ПВ	62	1100	2	25	33	ПВ	84	422	12
11	17	ЦС	73	607	3						

Таблица 2 – Матрица разделений отцепов состава

Отцеп	Стрелочные переводы														Тормозные позиции							
															ВТП	СТП		БТП				
	21	31	32	41	42	43	44	51	52	53	54	55	56	57		58	1	2	1	2	3	4
1	+		+				-								-		0	0	0			
2	-1	+			+							+					1		0			0
3	+2		-1			-							+				2	1			0	
4	+		+3				+1										3	3		1		
5	-4	-2		-				-									4		2			0
6	+5		-4			+3							+				5	4			3	
7	-6	-		-				+5									6		5			5
8	+7		-			+								-6			7	6			6	
9	-8	-		+7					+								8		7			7
10	+9		+8				+									-4	9	8		4		
11	+		+				-10										10	10		10		
12	-11	+9			+						+						11		9			2
13	-	+			-12						-						12		12			12
14	-	+			-						+13						13		13			13
15	+14		-11			-8						+					14	11			8	
16	+		+15				-										15	15		11		
17	+		+				+16										16	16		16		
18	-17	-14		+						+							17		14			9
19	+18		-17			+15								+8			18	17			15	
20	+		+19				+										19	19		17		
21	-20	+18			-					+							20		18			14
22	+21		+				-20								+16		21	20		20		
23	+						+22									+20	22	22		22		
24	-23	-21		-18				+									23		21			18
25	-	+24			-						-21						24		24			21

Учитывая, что параметры отцепов, условия их скатывания, а также фактические скорости выхода отцепов из тормозных позиций являются случайными величинами, то время скатывания от момента отрыва до момента занятия разделительного элемента s_{kj} j -го отцепа $t_j(s_{kj})$, а также время скатывания от момента отрыва до момента освобождения разделительного элемента s_{kj} k -го отцепа $\tau_k(s_{kj})$ также являются случайными величинами. В результате разделение

отцепов по маршрутам скатывания будет иметь случайный характер, а его вероятность может быть оценена с помощью выражения [11]

$$p_{kj} = \Phi \left(\frac{\theta_{kj} - t_{\text{пе}} - M[\tau_k(s_{kj})] + M[t_j(s_{kj})]}{\sqrt{\sigma[\tau_k(s_{kj})]^2 + \sigma[t_j(s_{kj})]^2}} \right),$$

где θ_{kj} – начальный интервал между k -м и j -м отцепами на вершине горки;

$M[\tau_k(s_{kj})], M[t_j(s_{kj})]$ – соответственно, математические ожидания величин $\tau_k(s_{kj})$ и $t_j(s_{kj})$;

$\sigma[\tau_k(s_{kj})], \sigma[t_j(s_{kj})]$ – соответственно, средние квадратические отклонения величин $\tau_k(s_{kj})$ и $t_{i+1}(s_{ij})$.

Необходимо отметить, что для первого отцепа расформируемой группы безусловно оптимальным управлением является реализация быстрого режима [9] при котором продолжительность занятия отцепом маршрута скатывания является минимальной. Реализация такого режима обеспечивает наибольший резерв времени для всех следующих за ним отцепов. Режимы торможения отцепов со 2-го по n -й зависят от режимов торможения предшествующих отцепов. На этапе планирования роспуска допустимыми по условиям интервального регулирования скорости скатывания отцепов будем считать режимы, которые обеспечивают разделение отцепа со всеми предшествующими отцепами с заданной вероятностью. Принято, что допустимая вероятность неразделения отцепов на стрелках и замедлителях составляет не более 0,005, а допустимая вероятность неразделения отцепов на башмачных тормозных позициях составляет не более 0,0005. Если для некоторого отцепа применение медленного режима торможения не обеспечивает его разделение с предыдущими отцепами, то в процессе роспуска состава должен быть сделан перерыв. При такой формулировке задачи оценка возможности расформирования состава может выполняться на основании последовательного скатывания отцепов, начиная со 2-го по n -й в максимально возможном быстром режиме.

Анализ областей допустимых режимов торможения отцепов [5] показывает, что поиск допустимого решения осуществляется вдоль их правой границы.

В качестве иллюстрации на рис. 1 а, б представлен поиск максимально быстрого режима торможения, обеспечивающего разделение отцепов 14 и 13 на парковой тормозной позиции при скорости роспуска 0,8 м/с.

Анализ режимов торможения отцепа 14 показывает, что для обеспечения допустимой вероятности его неразделения с отцепом 13 на ПТП при скорости роспуска 0,8 м/с скорость выхода отцепа из ВТП должна быть установлена $v_1 = 4,49$ м/с, а со второй $v_1 = 2,50$ м/с (точка G на ОДР).

С использованием данного метода выполнено моделирование расформирования состава на скорости $v_{\min} = 0,8$ м/с. По результатам имитационных экспериментов установлено, что имеют место два возможных варианта. Первый вариант предусматривает перерывы в роспуске после 10, 12, 17 и 22-го отцепов; второй – с перерывами в роспуске после 10, 12, 16 и 22-го отцепов.

Повышение скорости роспуска группы отцепов является возможным до того момента, пока вероятность неразделения ее отцепов сохраняет допустимые значения. При этом, повышение скорости роспуска приводит к сокращению начального интервала между отцепами на вершине горки и к

уменьшению времени скатывания отцепа от момента отрыва до входа на первую тормозную позицию. Максимально допустимой скоростью роспуска группы отцепов будем называть наибольшую скорость роспуска $v_{рд}$ ($v_{\min} \leq v_{рд} \leq v_{\max}$), превышение которой приводит к нарушению условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов.

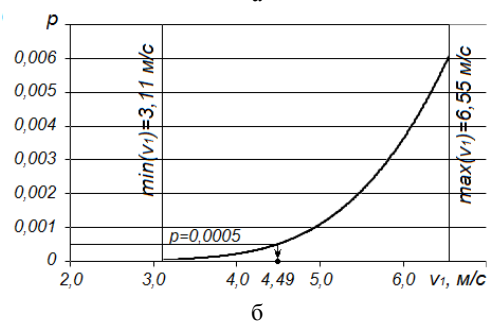
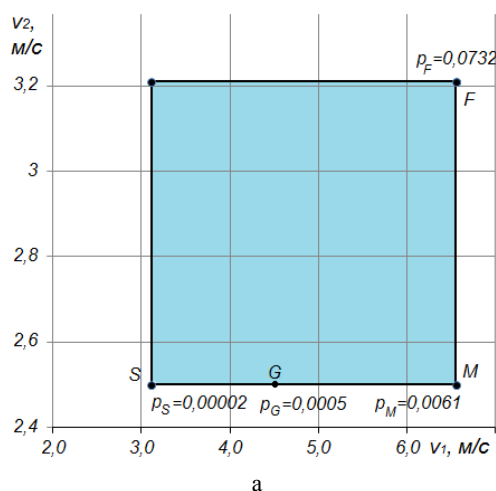


Рис. 2 – Поиск режима торможения отцепа 14, обеспечивающего разделение с отцепом 13 на ПТП: а – ОДР отцепа 14; б – поиск режима торможения на участке MS границы ОДР

Вероятность неразделения отцепов на разделительных элементах имеет сложную нелинейную зависимость от скорости роспуска. На нее оказывают влияние параметры маршрута скатывания, условия внешней среды характеристики отцепов, а также режимы торможения отцепов на тормозных позициях. Получить данную зависимость в аналитическом виде не представляется возможным и основным методом для ее оценки в настоящее время является имитационное моделирование процесса расформирования состава. С целью сокращения объемов вычислительных экспериментов по определению максимально допустимой скорости роспуска целесообразно оценивать ее на основании статистических зависимостей, получаемых по данным ограниченного числа экспериментов с имитационной моделью скатывания отцепов.

В результате анализа данных имитационных экспериментов установлено, что зависимость начального интервала между отцепами от скорости роспуска может быть представлена с помощью выражения

$$\theta_{kj}(v_p) = \frac{A_{kj}}{v_p}, \quad (3)$$

где A_{kj} – эмпирический коэффициент.

Время скатывания отцепов от вершины горки до точек их входа и выхода на(с) разделительные элементы зависит от многих факторов, в том числе и от выбранных режимов торможения отцепов на замедлителях. В результате анализа данных имитационных экспериментов установлено, что зависимости математического ожидания времени скатывания отцепа при быстром и медленном режимах скатывания могут быть аппроксимированы выражениями

$$t_{\bar{v}_6}(v_p) = \frac{l_m}{\bar{v}_6(v_p)} = \frac{1}{a_{t0} + a_{t1}v_p + a_{t2}v_p^2}, \quad (4)$$

$$t_{\bar{v}_m}(v_p) = \frac{l_m}{\bar{v}_m(v_p)} = \frac{1}{b_{t0} + b_{t1}v_p + b_{t2}v_p^2}, \quad (5)$$

где l_m – длина участка скатывания между точкой отрыва отцепа от состава и точкой занятия или освобождения разделительного элемента; $\bar{v}_6(v_p)$, $\bar{v}_m(v_p)$ – средняя скорость движения отцепа на участке скатывания; a_{t0} , a_{t1} , a_{t2} , b_{t0} , b_{t1} , b_{t2} – эмпирические коэффициенты.

Зависимости среднего квадратического отклонения времени скатывания отцепов в быстром и медленном режимах, соответственно могут быть представлены выражениями

$$\delta_{\bar{v}_6}(v_p) = \frac{1}{a_{d0} + a_{d1}v_p + a_{d2}v_p^2}, \quad (6)$$

$$\delta_{\bar{v}_m}(v_p) = \frac{1}{b_{d0} + b_{d1}v_p + b_{d2}v_p^2}, \quad (7)$$

где a_{d0} , a_{d1} , a_{d2} , b_{d0} , b_{d1} , b_{d2} – эмпирические коэффициенты.

При определении режима торможения очередного отцепа выполняется расчет математического ожидания и среднего квадратического отклонения времени занятия им разделительных элементов в быстром режиме по формулам (4) и (6). Если при этом, вероятности его разделения с предыдущими отцепами имеют допустимые значения, то принимается быстрый режим скатывания. Если в какой-то из пар отцепов вероятности разделения принимают недопустимые значения, то выполняется расчет математического ожидания и среднего квадратического отклонения времени занятия им разделительных элементов в медленном режиме по формулам (5) и (7). Если в какой-то из пар отцепов вероятности разделения принимают недопустимые значения, то обеспечить разделение данного отцепа с предыдущими при установленной скорости роспуска невозможно; иначе найти на границе ОДР режим торможения, который обеспечивает разделение со всеми предшествующими отцепами.

Определение допустимой скорости роспуска осуществляется методами прямого поиска в

диапазоне $[v_{\min}, v_{\max}]$. В качестве метода поиска может быть использован модифицированный метод «золотого сечения», алгоритм которого формулируется следующим образом.

Шаг 1. Принять $v_{рд} = v_{\max}$.

Шаг 2. Если $v_{\min} = v_{\max}$, то перейти на шаг 5.

Шаг 3. Определить вероятности разделения отцепов $p_{kjh}(v_{рд})$ во всех разделительных парах при скорости $v_{рд}$.

Шаг 4. Если $\max(p_{kjh}(v_{рд})) < P_{дн}$, то принять $v_{\min} = v_{рд}$, $v_{рд} = 0,618(v_{\min} + v_{\max})$ и перейти к шагу 2.

Шаг 5. Если $\max(p_{kjh}(v_{рд})) > P_{дн}$, то принять $v_{\max} = v_{рд}$, $v_{рд} = 0,618(v_{\min} + v_{\max})$ и перейти к шагу 2.

Шаг 6. Конец решения.

Пример поиска максимально допустимой скорости роспуска в группе с 13-го по 16-й отцеп представлено в табл. 3.

Рассмотрим состав, состоящий из G -отцепов. В процессе роспуска после отрыва g_i отцепов может быть предусмотрен перерыв и образована s_i группа. Продолжительность роспуска состава определяется продолжительностью роспуска каждой из групп и продолжительностью перерывов между их роспусками.

$$\sum_{i=1}^G \frac{l_i}{v_{рд,i}} + (G-1)t_{пер} \rightarrow \min,$$

где l_i – длина i -й группы вагонов.

Уменьшение скорости роспуска групп вагонов состава приводит к росту времени, затрачиваемого на роспуск. В то же время, уменьшение скорости роспуска может приводить к объединению групп и сокращению количества перерывов между роспусками. Необходимо отметить, что минимально возможное количество перерывов в роспуске соответствует минимальной скорости роспуска. Максимально целесообразное количество перерывов в роспуске соответствует максимальной скорости роспуска. В связи с этим оптимизация деления состава на группы отцепов может осуществляться путем анализа целесообразности сокращения количества перерывов за счет уменьшения скорости роспуска.

Рассмотрим состав, состоящий из двух групп, между роспуском которых имеет место перерыв. Исключение перерыва в роспуске целесообразно в случае, если

$$\frac{l_1 + l_2}{v_{рд12}} < \frac{l_1}{v_{рд1}} + \frac{l_2}{v_{рд2}} + t_{пер}; \quad (8)$$

$$v_{рд12} \leq \min(v_{рд1}, v_{рд2}),$$

где $v_{рд1}$, $v_{рд2}$, $v_{рд12}$ – соответственно допустимые скорости роспуска первой, второй и объединенной первой и второй групп.

Таблица 3 – Пример поиска максимально допустимой скорости роспуска в группе с 13-го по 16-й отцеп

Отцепы $k-j$	Разделительный элемент H	v_{\max}								
		1,700	1,700	1,700	1,569	1,569	1,569	1,557	1,550	1,545
		$v_{\text{рд}}$								
		1,700	1,356	1,569	1,488	1,538	1,557	1,550	1,545	1,542
v_{\min}										
		0,800	0,800	1,356	1,356	1,488	1,538	1,538	1,538	1,538
13-14	СТР. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	ВТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	СТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-14	БТП	0,01542	0,00013	0,00059	0,00035	0,00049	0,00054	0,00052	0,00051	0,00050
14-15	СТР. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-15	ВТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	СТР. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	ВТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15-16	СТП	0	0	0	0	0	0	0	0	0

На основании анализа выражения (8) может быть сформулировано Правило 1, в соответствии с которым минимальная скорость роспуска, при которой исключение перерыва в роспуске является целесообразным, может быть установлена из выражения

$$v_{\text{кр}12} = \max \left(v_{\min}, \frac{(l_1 + l_2)v_{\text{рд}1}v_{\text{рд}2}}{l_1v_{\text{рд}2} + l_2v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}}v_{\text{рд}1}v_{\text{рд}2}} \right).$$

Поэтому, для определения целесообразности объединения групп вагонов в одну необходимо выполнить моделирование роспуска состава на скорости $v_{\text{кр}}$. Если на данной скорости могут быть обеспечены требования интервального регулирования, то объединение групп целесообразно и необходимо установить допустимую скорость роспуска объединенной группы, иначе объединение групп не целесообразно.

Пусть имеет место состав из двух групп, которые нецелесообразно объединять так, что

$$\frac{l_1}{v_{\text{рд}1}} + \frac{l_2}{v_{\text{рд}2}} + t_{\text{пер}} < \frac{l_1 + l_2}{v_{\text{рд}12}}. \quad (9)$$

Представим выражение (9) как

$$t_{\text{пер}} < \frac{l_1}{v_{\text{рд}1}} \left(\frac{v_{\text{рд}1}}{v_{\text{рд}12}} - 1 \right) + \frac{l_2}{v_{\text{рд}2}} \left(\frac{v_{\text{рд}2}}{v_{\text{рд}12}} - 1 \right). \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{\text{кр}1n} = \max \left(v_{\min}, \frac{(l_{1,n-1} + l_n)v_{\text{рд}1,n-1}v_{\text{рд}n}}{l_1v_{\text{рд}n} + l_2v_{\text{рд}1,n-1} + t_{\text{пер}}v_{\text{рд}1,n-1}v_{\text{рд}n}} \right), \text{ если } T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n} < T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n}; \\ v_{\text{кр}1n} = \max \left(v_{\min}, \frac{(l_1 + l_{2,n})v_{\text{рд}1,n-1}v_{\text{рд}n}}{l_1v_{\text{рд}2,n} + l_2v_{\text{рд}1} + t_{\text{пер}}v_{\text{рд}2,n}v_{\text{рд}1}} \right), \text{ если } T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n} \geq T_{\text{р}1,n-1} + T_{\text{р}n}, \end{array} \right.$$

Поиск оптимального разбиения состава на группы предлагается осуществлять в соответствии со следующим алгоритмом.

Шаг 1. Выполнить моделирование роспуска состава со скоростью v_{\max} и установить множество отцепов, после которых должны быть сделаны переры-

вы в роспуске Q_6 . Анализ выражения (10) показывает, что увеличение значений l_1 и l_2 , а также уменьшение величины $v_{\text{рд}12}$ приводит к увеличению правой части неравенства и не может вызвать его нарушения. Таким образом, может быть сформулировано Правило 2, заключающееся в том, что если на некотором этапе установлено, что на текущей скорости роспуска исключение перерыва между группами является не целесообразным, то при присоединении к этим группам вагонов из групп, следующих перед или после рассматриваемых, исключение данного перерыва будет также не целесообразным.

Рассмотрим возможность расформирования состава без перерывов в роспуске из n групп. Если в процессе анализа возможности объединения различных вариантов объединения от 2 до $n-1$ последовательных групп установлено, что хотя-бы для одной такой группы объединение не целесообразно, то и объединение n групп также не целесообразно. В противном случае будет нарушено Правило 2. Таким образом, для расформирования состава из n групп вагонов должно быть целесообразно расформирования без перерыва в роспуске групп с 1 по $n-1$ и со 2 по n . В соответствии с Правилем 1 целесообразность роспуска без перерыва n групп отцепов может быть установлена из выражения

вы в роспуске Q_6 . Определить продолжительность роспуска каждой из образованных групп.

Шаг 2. Выполнить моделирование роспуска состава со скоростью v_{\min} и установить множество отцепов, после которых должны быть сделаны перерывы в роспуске Q_m .

Шаг 3. Если множества Q_b и Q_m совпадают, то оптимальная скорость роспуска всех групп состава v_{max} . Конец решения.

Шаг 4. Добавить во множество возможных вариантов объединения групп R вариант организации роспуска состава с необъединенными группами.

Шаг 5. Принять $i=1$.

Шаг 6. Принять $i=i+1$.

Шаг 7. Если $i > n$, то для вариантов множества R определить общую продолжительность расформирования и выбрать наименьшую. Конец решения.

Шаг 8. Рассмотреть возможности объединения для каждой их i последовательных групп. Если объединение целесообразно добавить возможные варианты роспуска составов с объединением групп от 1 до i во множество R.

Шаг 9. Перейти на шаг 6.

Обсуждение результатов оптимизации параметров роспуска состава. Оптимальный режим роспуска состава, параметры которого представлены в табл. 1 приведен на рис. 2.

Отцеп	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v_p , м/с	1,7									
Режим	БР	БР	БР	БР	БР	БР	БТП 5	БР	БР	БР

Отцеп		11	12		13	14	15	16		17
v_p , м/с	перерыв	1,7		перерыв	1,545				перерыв	
Режим		БР	БР		БР	БТП 13	БР	БР		БР

Отцеп	18	19	20	21	22		23	24	25
v_p , м/с	1,7					перерыв	1,7		
Режим	БР	БР	БР	БР	БТП 20		БР	БР	БР

Рис. 2 – Оптимальный режим роспуска состава

В случае, если продолжительность перерыва между роспусками составляет 0,33 мин, то рассмотренный состав может быть расформирован за 5,9 мин со средней скоростью роспуска 1,3 м/с. Скатывание отцепов состава может осуществляться в быстром режиме с исключением отцепов 7, 14 и 20, режимы торможения которых выбираются из условий обеспечения их разделения соответственно с отцепами 5, 13 и 20 на башмачной тормозной позиции.

Выводы. В результате выполненного исследования разработана методика выбора параметров управления роспуском составов, учитывающая особенности работы сортировочных горок с немеханизированными тормозными позициями. В основу предлагаемой методики положены методы математического моделирования скатывания отцепов с сортировочных горок и математической статистики. Результаты исследования могут использоваться как для решения оперативных задач, связанных с управлением роспуском, так и для решения технологических задач, таких как оценка перерабатывающей способности горок и нормирование штата регулировщиков скорости вагонов.

Список літератури:

- Zhang, C. Analysis of Hump Automation in China [Text] / C. Zhang, Y. Wei, G. Xiao, Z. Wang, J. Fu // Traffic and Transportation Studies (2000). – 2000. doi: [10.1061/40503\(277\)45](https://doi.org/10.1061/40503(277)45)

- Бобровський, В. І. Імітаційна модель процесу роспуску составів на сортувальних гірках [Текст] / В. І. Бобровський, А. С. Дорош, С. Б. Демченко // Вісник Нац. техніч. ун-у «Харків. політех. ін-ту». Серія: Механіко-технолог. системи та комплекси. – 2015. – № 49 (1158). – С. 94–98.
- Козаченко, Д. Н. Исследование прицельного регулирования скорости скатывания отцепов в условиях неопределенной информации об их ходовых свойствах [Текст] / Д. Н. Козаченко, Р. Г. Коробьева, О. И. Таранец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Т. 6, № 3 (42). – С. 42–47.
- Бессоненко, С. А. Расчет скорости отцепов и мощности тормозных позиций с использованием вероятностных показателей [Текст] / С. А. Бессоненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2006. – № 5. – С. 11–16.
- Bobrovskiy, V. Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps [Text] / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolvanovska, A. Kolesnik // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11, Issue 1. – P. 147–155. doi: [10.20858/tp.2016.11.1.14](https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14)
- Бобровський, В. І. Оптимізація режимів торможения отцепов расчетной группы состава [Текст] / В. І. Бобровський, А. С. Дорош // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1 (43). – С. 103–112. doi: [10.15802/stp.2013/9582](https://doi.org/10.15802/stp.2013/9582)
- Бессоненко, С. А. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов [Текст] / С. А. Бессоненко, В. Н. Иванченко, А. М. Лященко // Вестник РГУПС. – 2013. – № 1 (49). – С. 55–65.
- Гревцов, С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках [Текст] / С. В. Гревцов // Транспортні системи і технології перевезень. – 2016. – № 12. – С. 10–15. doi: [10.15802/tst.2016/85879](https://doi.org/10.15802/tst.2016/85879)
- Бобровський, В. І. Оптимізація режимів регулювання скорости отцепов при роспуску составов на горках [Текст] /

- В. И. Бобровский, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2004. – № 4. – С. 174–182.
10. Бобровский, В. И. Анализ числа разделений отцепов в составах, расформируемых на действующих сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов // Транспортні системи та технології перевезень. – 2011. – Вип. 2. – С. 17–21.
 11. Козаченко, Д. Н. Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках [Текст] / Д. Н. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – № 34. – С. 46–50.
- Bibliography (transliterated):**
1. Zhang, C., Wei, Y., Xiao, G., Wang, Z., Fu, J. (2000). Analysis of Hump Automation in China. Traffic and Transportation Studies (2000). doi: [10.1061/40503\(277\)45](https://doi.org/10.1061/40503(277)45)
 2. Bobrovskiy, V. I., Dorosh, A. S., Demchenko, E. B. (2010). Imitatsiynaya model' protsesu rozpusku sostaviv na sortuval'nykh hirkakh [Simulation model of the trains breaking-up process at the humps]. Vestn. Khar'k. politekhn. un-ty. Ser.: Mekhaniko-tekhnolog. systemy ta komplekсы [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Mechanic-technological systems and complexes], 9 (1158), 94–98.
 3. Kozachenko, D. M., Korobiova, R. H., Taranets, O. I. (2009). Issledovanie pricel'nogo regulirovaniya skorosti skatvaniya otcenov v usloviyakh neopredelennoy informacii ob ih hodovykh svoystvah [Investigation of sighting regulation of the rolling-off speed in the conditions of uncertainty of information about their running properties]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (3 (42)), 42–47.
 4. Bessonenko, S. A. (2006). Raschet skorosti otcenov i moshnosti tormoznykh pozicij s ispol'zovaniem verojatnostnykh pokazatelej [Calculation of the speed of traction and power braking positions using the probabilistic indicators]. Transport: nauka, tehnika, upravlenie [Transport: science, technology, management], 5, 11–16.
 5. Bobrovskiy, V., Kozachenko, D., Dorosh, A., Demchenko, E., Bolvanovska, T., Kolesnik, A. (2016). Probabilistic Approach for the Determination of Cuts Permissible Braking Modes on the Gravity Humps. Transport Problems, 11 (1), 147–155. doi: [10.20858/tp.2016.11.1.14](https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.14)
 6. Bobrovskiy, V. I., Dorosh, A. S. (2013). The optimization of retarding regimes within the particular group of cuts. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 1 (43), 103–112. doi: [10.15802/stp2013/9582](https://doi.org/10.15802/stp2013/9582)
 7. Bessonenko, S. A., Ivanchenko, V. N., Ljashchenko, A. M. (2013). Matematicheskaja model' rascheta parametrov interval'nogo tormozhenija otcenov i peremennykh skorostej rospuska sostavov [Mathematical model for calculating the parameters of interval braking of traps and variable rates of composition dissolution]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universitetata putey soobshcheniya [Bulletin of Rostov State Transport University], 1 (49), 55–65.
 8. Grevtsov, S. V. (2016). The analysis of risks related to break-up of rolling stock on hump yards. Transport systems and transportation technologies, 12, 10–15. doi: [10.15802/tst2016/85879](https://doi.org/10.15802/tst2016/85879)
 9. Bobrovskiy, V. I., Rogov, N. V. (2004). Optimizacija rezhimov regulirovaniya skorosti otcenov pri rospuske sostavov na gorkah [Optimization of methods of cuts speed control in the dissolution of the rolling stocks on hump yards]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 4, 174–182.
 10. Bobrovskiy, V. I., Kudryashov, A. V. (2011). Analiz chysla razdeleniya ottsepov v sostavakh, rasformyruemykh na deystviushchykh sortyrovочnykh horkakh [The analysis of the number of the cuts' separations in the train for existing hump]. Transportni systemy ta tekhnologii perevezenn [Transport systems and transportation technologies], 2, 17–21.
 11. Kozachenko, D. N. (2010). Issledovanie uslovij interval'nogo regulirovaniya skorosti skatvaniya otcenov na avtomatizirovannykh gorkah [Studies of the conditions of the interval speed control rolling unhook on automated slides]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 34, 46–50.

Поступила (received) 05.05.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Управління розпуском составів на сортувальних гірках з немеханізованими парковими гальмівними позиціями/ Козаченко Д. М., Гревцов С. В., Болвановська Т. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.72–80. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями/ Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 19(1241). – С.72–80. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Handling of the trains' breaking-up process on the sorting humps with non-mechanized target braking positions/ Kozachenko D., Grevtsov S., Bolvanovska T. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 19 (1241).– P.72–80. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Козаченко Дмитро Миколайович – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Козаченко Дмитрій Николаевич – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Kozachenko Dmytro Mykolaiovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Professor at the Department «Management of Operational Work»; e-mail: kozachenko@upp.diit.edu.ua.

Гревцов Сергій Веніамінович – Львівський коледж транспортної інфраструктури Дніпропетровського

національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, директор; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Грецов Сергей Вениаминович – Львовский колледж транспортной инфраструктуры Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, директор; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Grevtsov Sergij Veniaminovich – Lviv College of Transport Infrastructure at Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Head; e-mail: Grevtsov@ukr.net.

Болвановська Тетяна Валентинівна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, доцент кафедри «Станції та вузли»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Болвановская Татьяна Валентиновна – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, доцент кафедры «Станции и узлы»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

Bolvanovska Tetiana Valentynivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Dnipropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, Associate Professor at the Department «Stations and Junction»; e-mail: valentinovna.upp@gmail.com.

УДК 621.311

М. М. МОШНОРИЗ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ЯКА СКЛАДАЄТЬСЯ З ДВОХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ

В науковій роботі шляхом комп'ютерного моделювання досліджено роботу насосного агрегату з мережею водоспоживання та двох насосних агрегатів на водопровідну мережу. Для цього розроблено модель відцентрового насоса, модель мережі, електропривода, одного насосного агрегата з водопровідною мережею та двох насосних агрегатів з мережею. В результаті дослідження дано рекомендації до побудови систем водопостачання з кількома насосами. Також у роботі досліджено питання енергоспоживання насосною станцією в різних режимах роботи. Розроблено алгоритм роботи системи керування двома насосними агрегатами та перевірено його працездатність шляхом комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: насос, насосний агрегат, перетворювач частоти, зворотній зв'язок за швидкістю, лінійна модель двигуна, мережа водоспоживання, узгоджена робота насосів, енергоспоживання, алгоритм роботи системи керування.

В научной работе путем компьютерного моделирования исследована работа насосного агрегата с сетью водопотребления и двух насосных агрегатов на водопроводную сеть. Для этого разработана модель центробежного насоса, модель сети, электропривода, одного насосного агрегата с водопроводной сетью и двух насосных агрегатов с сетью. В результате исследования даны рекомендации к построению систем водоснабжения с несколькими насосами. Также в работе исследован вопрос энергопотребления насосной станцией в различных режимах работы. Разработан алгоритм работы системы управления двумя насосными агрегатами и проверено его работоспособность путем компьютерного моделирования.

Ключевые слова: насос, насосный агрегат, преобразователь частоты, обратная связь по скорости, линейная модель двигателя, сеть водопотребления, согласованная работа насосов, энергопотребление, алгоритм работы системы управления.

In the scientific work by computer modeling the work of the pump unit with a network of water consumption and two pump units on the water supply network was investigated. For this purpose a model of a centrifugal pump, a network model, an electric drive, one pump unit with a water supply network and two pump units with a network have been developed. As a result of the study, recommendations were given for building water supply systems with several pumps. Also, the issue of power consumption of the pump station in different operating modes is investigated. The algorithm of operation of the control system of two pump units was developed and its efficiency was checked by computer modeling.

Keywords: pump, pump unit, frequency converter, speed feedback, linear model of the engine, water consumption network, coordinated operation of pumps, power consumption, algorithm of control system operation.

Вступ. При роботі насоса на мережу водоспоживання виникають труднощі, які пов'язані з узгодженням роботи електропривода насоса і споживача. Ці труднощі пов'язані з наявністю протитиску в мережі. В будь який момент насос повинен генерувати тиск, який буде більший за протитиск в мережі. В інакшому випадку він буде вимикатися з роботи зворотнім клапаном. Ще складнішим стає завдання узгодження роботи насоса з мережею, коли паралельно з цим насосом працює інший. Задача стає складнішою через те, що тепер узгоджувати треба не лише тиск насоса та мережі, а і тиски паралельно працюючих насосів.

При роботі двох насосів на мережу можна керувати ними однаково. Для цього зручно використовувати частотний перетворювач, який живитиме одночасно обидва насоси. В такому разі перетворювач частоти повинен бути розрахований на подвійну потуж-

ність, що суттєво збільшує вартість електропривода. Існують рішення, коли регулюється швидкість одного насоса, а інший вмикається чи вимикається. Саме такі рішення є економічно вигідними. Ускладнює питання використання даних рішень лише спосіб керування електроприводами насосів.

Отже, питання узгодження керування паралельно працюючими електроприводами насосів є актуальним.

Робота виконувалася відповідно до одного з напрямів роботи кафедри Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету. Цей напрям стосується діагностування електротехнічного обладнання, а саме систем водопостачання та насосних станцій.

© М. М. Мошноріз. 2017