

УДК 656.225: 004.047
ББК 39.275

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВАГОНПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПЕРИОДОВ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Мишкурлов П. Н.¹

*(Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)*

Представлена постановка задачи динамической оптимизации параметров вагонопотоков в железнодорожных транспортных узлах или на путях необщего пользования промышленных предприятий и пример её решения. Предложен алгоритм корректировки маршрутов движения вагонопотоков, выполненный на основе использования объектно-ориентированного подхода.

Ключевые слова: вагонопоток, железнодорожный транспортный узел, динамическое программирование, период оптимизации, оперативное управление, объектно-ориентированный подход.

1. Введение

Результаты анализа работы железнодорожного транспорта промышленных предприятий показывают, что в течение последних семи лет время нахождения железнодорожных вагонов на путях необщего пользования промышленных предприятий увеличилось в среднем на 20%. Также наблюдается усложнение структуры вагонопотоков в результате возникновения и развития компаний-операторов собственных вагонов и появления большого числа нерегулярных струй вагонопотоков малой мощности [8, 9]. Это приводит к возникновению потерь в среднем до 20–30 млн. рублей для предприятий со среднесуточным

¹ Павел Николаевич Мишкурлов, аспирант (mishkuroff@mail.ru).

вагонооборотом 2 тыс. вагонов в результате перепростоя вагонов и нерационального использования транспортной инфраструктуры [5, 6, 10, 11].

Основная причина возникновения подобных явлений заключается в том, что принятая в настоящее время форма организации управления вагонопотоками недостаточно точно в оперативном режиме учитывает усложнение их структуры [3].

Современным инструментом управления вагонопотоками являются методы динамической оптимизации [1, 4, 6]. Известный метод «динамического согласования» производства, транспорта и потребления основан на применении многоэтапного (многошагового) подхода при решении задачи оптимизации и представляет собой развитие содержательной постановки задачи линейного программирования в динамическую область, позволяет учитывать распределение объемов производства и потребления во времени, изменение запасов продукта в конечных и промежуточных пунктах [4]. Несовершенством методов динамического согласования является недостаточная точность решения задачи управления вагонопотоками на этапе оперативного планирования, если этапы оптимизации (расчетные периоды) имеют фиксированные границы (продолжительность). В случае возникновения на путях необщего пользования нерегулярных вагонопотоков, отличных от расчетных по мощности и времени обращения, использование фиксированных расчетных периодов приводит к ожиданию вагонопотоков следующего (текущего) периода (рис. 1). Задержки в принятии управленческого решения по продвижению нерегулярных вагонопотоков являются причиной увеличения времени оборота вагонов на путях необщего пользования промышленных предприятий.

Для повышения эффективности перевозочного процесса промышленного предприятия необходимо управлять вагонопотоками с момента их появления в железнодорожном транспортном узле до момента «вывода», учитывая возникновение нерегулярных вагонопотоков на этапе оперативного планирования перевозочного процесса. В качестве инструмента принятия решений по управлению вагонопотоками в таких условиях предлагается использовать разработанную математическую модель, основанную на усовершенствованном методе «динами-

ческого согласования» и учитывающую изменение длительности расчетных периодов оптимизации.

2. Постановка задачи динамической оптимизации с использованием расчетных периодов переменной длительности

Задача динамической оптимизации с использованием расчетных периодов переменной длительности формулируется следующим образом. Пусть $Gr = \{P, E\}$ есть связный, неориентированный и не имеющий петель граф, где $P = \{p_i \mid i = 1, \dots, m\}$ – множество вершин (m – количество вершин), $E = \{e_{ij} \mid i, j\}$ – множество дуг (e_{ij} – дуга транспортной сети от начальной вершины p_i до p_j), $[t, t_0]$ – расчетный период переменной длительности, $[0, T]$ – период оптимизации. Отображения $d_{ij}(t)$ и $d_i(t)$ будем называть резервом пропускной способности дуги и вершины соответственно на каждый момент времени расчетного периода, т.е. каждой дуге e_{ij} сопоставлено неотрицательное число $d_{ij}(t)$, называемое резервом пропускной способности дуги, а каждой вершине p_i сопоставлено неотрицательное число $d_i(t)$, называемое резервом перерабатывающей способности i -й вершины (рис. 2) [7].

Таким образом, $D_{ij}(t) = \{d_{ij}(t) \mid i = [1, n], j = [1, n]\}$ – множество резервов пропускных способностей дуг и $D_i(t) = \{d_i(t) \mid i = [1, n]\}$ – множество резервов перерабатывающих способностей вершин, где $d_{ij}(t), d_i(t) \in R^+$ есть значения резервов пропускных способностей дуги и i -й вершины, определенных на множестве действительных неотрицательных чисел. Тогда $G = \{P, E, D_{ij}, D_i\}$ есть транспортная сеть.

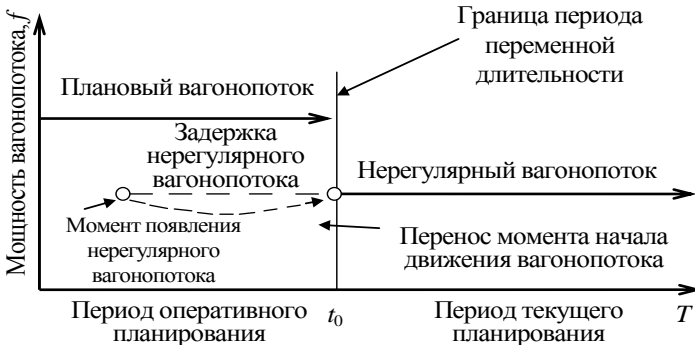


Рис. 1. Схема переноса вагонопотока

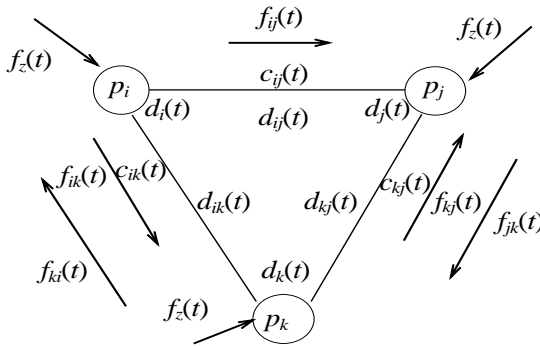


Рис. 2. Фрагмент транспортной сети.

$f_z(t)$ – внешний вагонопоток, входящий в транспортную сеть

Отображение $f_{ij}(t)$ будем называть вагонопоток в дуге i из начальной вершины p_i в конечную вершину p_j , а $F_{ij} = \{f_{ij}(t) \mid i = [1, n], j = [1, n]\}$ есть множество вагонопотоков в дугах сети G , где $f_{ij}(t) \in R^+$ – значения вагонопотока, определенные на множестве действительных неотрицательных чисел, $c_{ij}(t)$ – затраты на движение единицы мощности вагонопотока $f_{ij}(t)$.

Пусть величина мощности вагонопотока $f_{ij}(t)$ имеет случайный разброс, тогда в каждый момент отправления t оно будет $f_{ij}(t) \pm y_i(t)$, где $y_i(t)$ – случайная величина. В этом случае (рис. 4), если мощность вагонопотока будет $f_{ij}(t) - y_i(t)$, возникают потери

в результате нерационального использования транспортной инфраструктуры. Следовательно, маршрут движения вагонопотока целесообразно скорректировать, выбрать и учесть на этапе оперативного планирования маршрут, удовлетворяющий условию $f_{ij}(t) \leq d_{min}$, где d_{min} – граница поля допуска, т.е. минимальный резерв пропускной $d_{ij}(t)$ и перерабатывающей $d_i(t)$ способности дуг и вершин транспортной сети на каждом маршруте движения вагонопотока.

Однако в этом случае необходимо учитывать дополнительные затраты, связанные с корректировкой маршрута движения вагонопотока. Таким образом, если мощность вагонопотока будет $f_{ij}(t) + y_i(t)$, то наблюдаются:

1) недостаток резерва пропускной способности на маршруте движения вагонопотока, в результате чего возникают дополнительные затраты на корректировку этого маршрута (рис. 3);

2) потери от простоя нерегулярного вагонопотока мощностью $y_i(t)$ в результате деления фактического вагонопотока (рис. 4);

3) затраты при движении нерегулярного вагонопотока мощностью $y_i(t)$ по транспортной сети (рис. 5).

Требуется найти минимальную сумму затрат на движение, простой и изменение структуры вагонопотоков с учетом дополнительных затрат на корректировку их маршрутов [9]. То есть функционал имеет вид

$$(1) \quad J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 \rightarrow \min ,$$

где транспортные расходы рассчитываются по формуле

$$(2) \quad J_1 = \sum_{t=0}^T \sum_{p_i}^{p_j} c_{ij}(t) \cdot f_{ij}(t) ,$$

затраты на задержку регулярного вагонопотока в начальной вершине маршрута его движения

$$(3) \quad J_2 = \sum_{t=0}^T \sum_{p_i}^{p_j} c_i \cdot f_{ij}(t) .$$

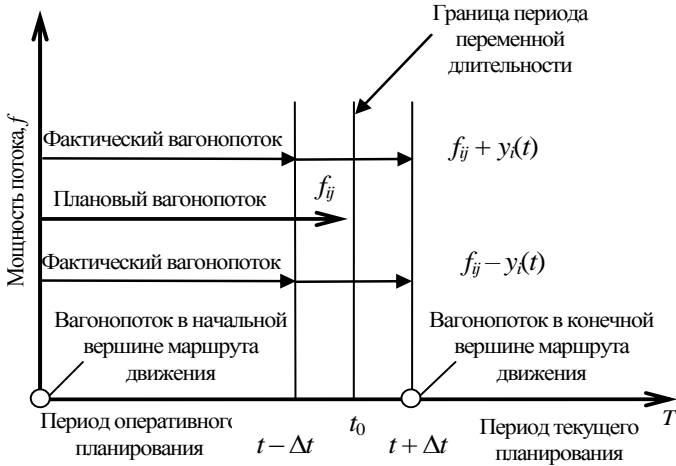


Рис. 3. Схема изменения границы периода оперативного планирования

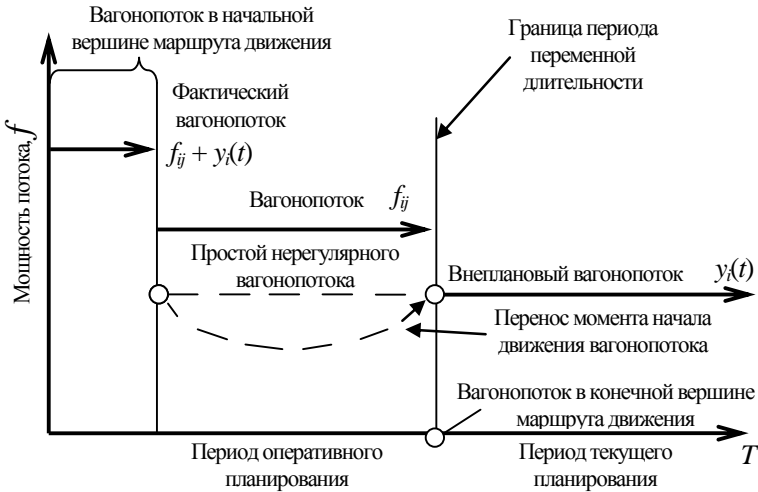


Рис. 4. Схема переноса нерегулярного вагонопотока

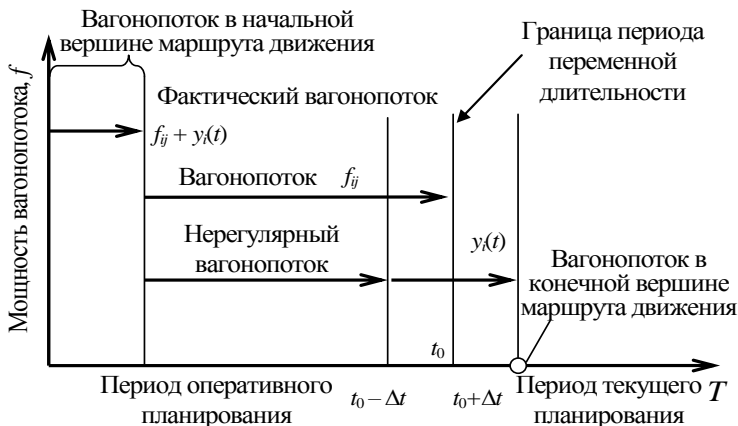


Рис. 5. Схема движения фактического вагонопотока

Составляющие J_3 и J_4 зависят от вида и параметров закона распределения. Обозначим границу периода динамической оптимизации моментом t_0 . Если момент завершения движения фактического вагонопотока t произойдет раньше t_0 (т.е. $t < t_0$), то возникают потери от задержки вагонопотока в течение времени $t_0 - t$ в ожидании начала следующего периода оптимизации. В противном случае появляются дополнительные расходы на корректировку маршрута продвижения фактического вагонопотока.

Пусть $c_{1,(i)}$ – единичные потери от задержки фактического вагонопотока в ожидании следующего периода оптимизации, $c_{2,(ij)}$ – единичные расходы на корректировку маршрута движения фактического вагонопотока, тогда потери от задержки фактического вагонопотока в ожидании следующего периода оптимизации определяются как

$$(4) \quad J_3 = \sum_0^{t_0} f_{ij}(t) \cdot c_{1,(i)}(t_0 - t), \quad t = [0; t_0],$$

а расходы на корректировку маршрута движения нерегулярного вагонопотока составят

$$(5) \quad J_4 = \sum_{t_0}^T f_{ij}(t) \cdot c_{2,(ij)}(t - t_0), \quad t = [t_0; T].$$

Если единичный ущерб от задержки нерегулярного вагонотока в ожидании следующего периода оптимизации $c_{1,(i)}$ больше единичных затрат на корректировку маршрута движения фактического вагонотока $c_{2,(ij)}$, то целесообразно корректировать маршруты движения вагонотоков путем изменения границ периодов динамической оптимизации. Пусть $\varphi(t)$ – математическое ожидание мощности фактического вагонотока. Если $c_{1,(i)}$ пропорционален $(t_0 - t)$, то математическое ожидание потерь от задержки вагонотока в ожидании следующего периода оптимизации будет равно

$$(6) \quad \varphi(t) \cdot c_{1,(i)}(t_0 - t).$$

В случае корректировки маршрута движения фактического вагонотока математическое ожидание потерь будет равно

$$(7) \quad \varphi(t) \cdot c_{2,(ij)}(t - t_0).$$

Выбор рациональной границы периода динамической оптимизации t_0 предлагается осуществлять на основе решения уравнения

$$(8) \quad \varphi(t) \cdot c_{1,(i)}(t_0 - t) = \varphi(t) \cdot c_{2,(ij)}(t - t_0).$$

Результатом решения уравнения (8) является оптимальное соотношение величины минимальных суммарных затрат $c_{min}(t_0)$ на задержку вагонотока в ожидании следующего периода оптимизации и затрат на корректировку маршрута движения фактического вагонотока (рис. 6):

$$(9) \quad c(t_0) = \frac{c_{2,(ij)}(t - t_0)}{c_{1,(i)}(t_0 - t)}.$$

На целевую функцию (1) накладываются следующие ограничения:

1. Уравнение динамики изменения мощности вагонотока:

$$f_{ij}(t + 1) = f_{ij}(t) + y_i(t + 1) - y_i(t)$$

2. Начальное и конечное условия задачи:

$$f_{ij}(0) = 0; y_i(t) = 0$$

3. Условия неотрицательности переменных:

$$f_{ij}(t) \geq 0; i \neq j; y_i(t) \geq 0;$$

4. Ограничения на наличие резервов пропускной способности:

$$0 \leq f_{ij}(t) \leq d_{ij}(t),$$

$$0 \leq f_{ij}(t) \leq d_i(t) \cdot K_u,$$

$$0 \leq f_{ij}(t) \leq d_{min}(t),$$

где K_u – поправочный коэффициент, учитывающий сложность управления вагонопотоками на железнодорожной станции на основе расчета количества управленческой информации по методике, изложенной в работе [2].

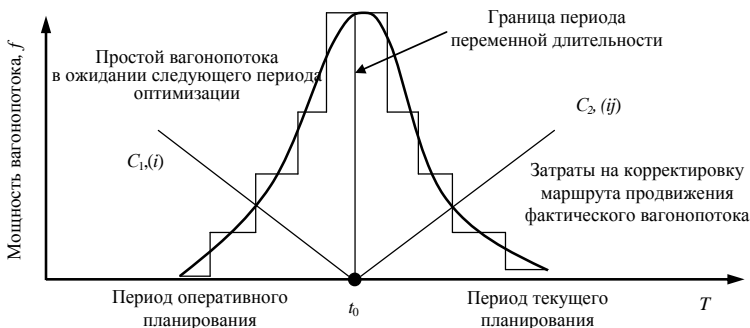


Рис. 6. Определение оптимальной границы периода динамической оптимизации

Предлагаемая задача динамической оптимизации, основанная на использовании расчетных периодов переменной длительности, позволяет учитывать в оперативном режиме изменения маршрутов движения вагонопотоков по транспортной сети и влияние этих изменений на величину пропускной способности дуг транспортной сети.

3. Пример решения поставленной задачи динамической оптимизации

Рассмотрим пример решения задачи динамической оптимизации с использованием предлагаемого способа.

Пусть известны мощности расчетных фактических вагонопотоков $f_{12}(0) = 4$, $f_{12}(10) = 2$, $f_{12}(20) = 2$, $f_{32}(0) = 2$, $f_{23}(13) = 2$, $f_{31}(21) = 1$. Примем расчетный период $[0; T] = 30$, который разделен на периоды оптимизации с границами $t_{0,1} = 10$ мин.,

$t_{0,2} = 20$ мин., $t_{0,3} = 30$ мин. Схема расчетной транспортной сети представлена на рис. 7.

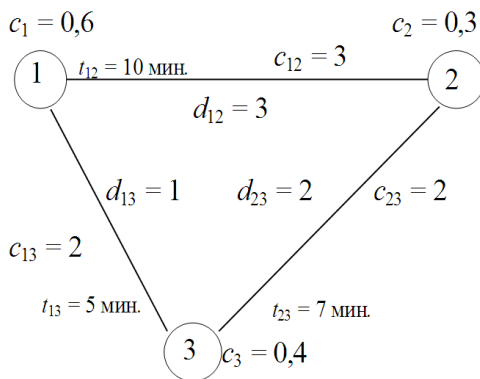


Рис. 7. Расчетная схема транспортной сети

Решение задачи начинается с последнего, третьего, периода оптимизации $[t_{0,2}; T]$. Вагонопотоки на данном периоде: $f_{12}(20) = 2$; $f_{31}(21) = 1$. Предполагается, что вагонопотоки $f_{12}(20)$ и $f_{31}(21)$ регулярные.

Проверка ограничений на наличие резервов пропускной способности элементов транспортной сети по маршрутам движения регулярных вагонопотоков:

$$d_{\min,12} = \min(3) = 3; 0 < f_{12}(20) < 3;$$

$$d_{\min,31} = \min(1) = 1; 0 < f_{31}(21) = 1.$$

Поскольку мощность вагонопотоков $f_{12}(20)$ и $f_{31}(21)$ не превышает пропускную способность, то нет необходимости осуществлять поиск альтернативных маршрутов. В результате движения вагонопотоков $f_{12}(20)$ и $f_{31}(21)$ на третьем периоде оптимизации транспортные расходы составят $J_1 = 6 + 2 = 8$, затраты при задержке регулярного вагонопотока в начальной вершине маршрута его движения $J_2 = 0$, потери от простоя фактического вагонопотока в ожидании следующего периода оптимизации $J_3 = 0$, расходы на корректировку маршрута движения нерегулярного вагонопотока $J_4 = 0$. Суммарные затраты на движение вагонопотоков на третьем периоде оптимизации (формула (1)) составят $J = 8+0+0+0=8$.

Аналогично рассчитываются параметры вагонопотоков на втором периоде, $[t_{0,1}; t_{0,2}]$. Суммарные расходы, с учетом результата на третьем периоде, будут равны 18.

На первом периоде оптимизации $[0; t_{0,1}]$ вагонопоток $f_{12}(0) = 4$ является нерегулярным. Проверим ограничение на наличие резервов пропускной способности $f_{32}(0) = 2$; $d_{min,32} = \min(2) = 2$; $0 < f_{32}(0) = 2$. Поскольку $f_{12}(0) = 4 \neq f_{12}(10) = 3$, следовательно, вагонопоток $f_{12}(0)$ является нерегулярным. Предлагается деление вагонопотока на $f_{12}(0) = 3$ и $y_{12}(0) = 4 - 3 = 1$. В этом случае вагонопоток $f_{12}(0)$ становится регулярным. В результате маршрут движения $f_{12}(0)$ совпадает с маршрутом движения аналогичных вагонопотоков на предыдущих периодах оптимизации, где $d_{min,12} = \min(3) = 3$; $0 < f_{12}(0) - y_{12}(0) = 3$.

Рассмотрим возможные варианты движения нерегулярного вагонопотока $y_{12}(0)$.

Вариант 1: движение по стандартному маршруту, запланированному на первом периоде оптимизации по дуге (ij) . На первом периоде расчетного маршрута движения вагонопотока $f_{12}(0)$, следовательно, для вагонопотока $y_{12}(0)$ $d_{min,12} = 0$. Учитывая ограничение на резерв пропускной способности, движение вагонопотока $y_{12}(0)$ возможно только во втором периоде. Следовательно, возникает задержка вагонопотока $y_{12}(0)$ в ожидании следующего периода оптимизации, где суммарные затраты рассчитываются как:

$$J_1 = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 13; J_2 = 0; J_3 = (0,6 \cdot 10) \cdot 1 = 0,6;$$

$$J_4 = 0 \Rightarrow J = 13 + 6 = 19.$$

Вариант 2: движение по альтернативному маршруту. Проверим ограничения на наличие резервов пропускной способности $d_{min,132} = \min(1; 2) = 1$, $0 < y_{12}(0) = 1$.

Суммарное время движение вагонопотока $y_{12}(0)$ составляет $t(1, 3) + t(2, 3) + t(3) = 5 + 7 + 2 = 14$ мин. Время движение вагонопотока $y_{12}(0)$ больше установленной величины периода оптимизации (10 мин.), в результате существует два варианта решения задачи.

Вариант 2.1: дополнительная задержка нерегулярного вагонопотока $y_{12}(0)$ в вершине 3 в ожидании движения вагонопотока $f_{23}(13)$ по дуге (23). При выборе такого варианта граница

периода оптимизации остается неизменной, вагонопоток $y_{12}(0)$ задерживается в вершине 3 в ожидании следующего периода. В результате задержки нерегулярного вагонопотока $y_{12}(0)$ суммарные затраты рассчитываются следующим образом:

$$J_1 = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 13; J_2 = 0; J_3 = 0;$$

$$J_4 = 2 \cdot 1 + (0,4 \cdot (2 + 13)) \cdot 1 + 2 \cdot 1 = 10 \Rightarrow J = 13 + 10 = 23.$$

Вариант 2.2: задержка регулярного вагонопотока $f_{23}(13)$ в вершине 2 в ожидании движения нерегулярного вагонопотока $y_{12}(0)$ по дуге (23). В этом варианте изменится граница периода оптимизации, в результате повысится точность решения задачи. Таким образом, суммарные затраты рассчитываются следующим образом:

$$J_1 = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 13; J_2 = (0,3 \cdot 1) \cdot 2 = 0,6; J_3 = 0,$$

$$J_4 = 2 \cdot 1 + (0,4 \cdot 2) \cdot 1 + 2 \cdot 1 = 4,8 \Rightarrow J = 13 + 4,8 + 0,6 = 18,4.$$

При выборе варианта 2.1 в качестве оптимального результата решения задачи, где вагонопоток $y_{12}(0)$ задерживается в вершине 3 в ожидании следующего периода оптимизации, суммарные затраты на движение вагонопотоков по транспортной сети составят 37. Однако при решении задачи на основе использования расчетных периодов переменной длительности (вариант 2.2) повышается точность её решения. Повышение точности достигается в результате увеличения границы периода оптимизации $t_{0,1}$, в этом случае сокращается задержка вагонопотока $y_{12}(0)$ в вершине 3. При выборе варианта 2.2 суммарные затраты на движение вагонопотоков по транспортной сети составят 36,4.

Таким образом, в качестве оптимального варианта решения задачи принимаем: разделение фактического вагонопотока $f_{12}(0)$; корректировку маршрута движения нерегулярного вагонопотока $y_{12}(0)$; изменение границы периода оптимизации $t_{0,1}$. Результат решения задачи динамической оптимизации представлен в таблице 1, где суммарные затраты на движение вагонопотоков по транспортной сети составляют 36,4.

Таблица 1. Результат решения задачи динамической оптимизации с расчетными периодами переменной длительности

Дуга транспортной сети	Время, мин.							
	t_0		$t_{0,1}$		$t_{0,2}$		$t_{0,3}$	
	0	5	5	14	14	20	20	30
(12)	$f_{12}(0)$		$f_{12}(0)$		$f_{12}(10)$		$f_{12}(20)$	
(13)	$y_{12}(0)$						$f_{31}(21)$	
(23)	$f_{32}(0)$		$y_{12}(0)$		$f_{23}(13)$			

4. Алгоритм корректировки маршрутов движения вагонопотоков

Для практического использования предлагаемой модели разработан алгоритм корректировки маршрутов движения вагонопотоков, выполненный на основе использования объектно-ориентированного подхода (рис. 7).

Транспортная сеть G представлена объектом, в состав которого входят списки и функции:

1. Список вершин $P(I)$, где объект I – вершина. Данные объекта I : i – номер вершины; список $D(d, t)$, где d – резерв пропускной способности вершины в момент времени t ; список $C(c, t)$, где c – затраты на задержку единицы мощности вагонопотока в вершины в момент времени t .

2. Список дуг $E(IJ)$, где объект IJ – дуга. Данные объекта IJ : i – номер начальной вершины дуги, j – конечной; (d, t) , где d – резерв пропускной способности дуги в момент времени t ; список $C(c, t)$, где c – затраты на движение единицы мощности вагонопотока по дуге в момент времени t ; tx – время движения вагонопотока по дуге.

Список вагонопотоков $F(Fn)$, где объект Fn – вагонопоток. Данные объекта Fn : n – номер вагонопотока; f – мощность вагонопотока; t – момент времени начала движения вагонопотока; объект $M(m, c)$ – маршрут движения вагонопотока, где m – список номеров вершин, по которым движется вагонопоток, c – затраты на движение единицы мощности вагонопотока по маршруту.

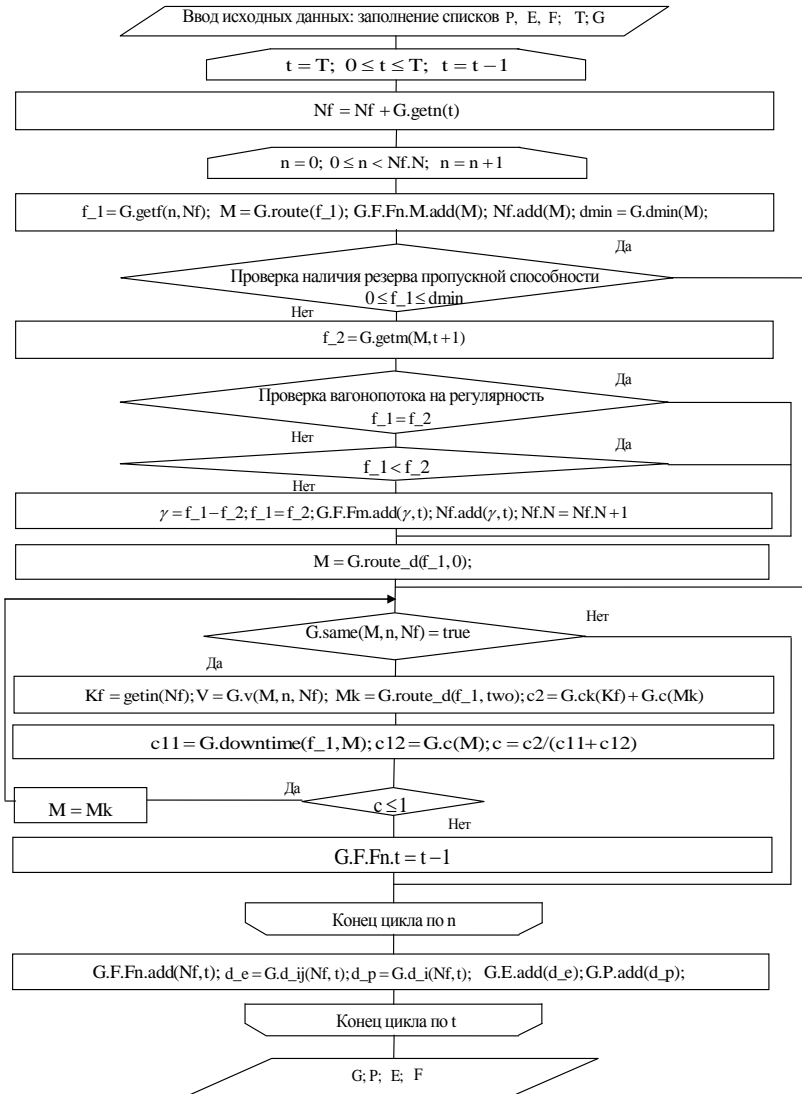


Рис. 7. Алгоритм корректировки маршрутов движения вагонопотоков на основе использования расчетных периодов переменной длительности

Функции объекта G : $getn(t)$ – получение списка вагонопотоков, движение которых начинается в момент времени t ; $getf(n, Nf(N))$ – расчет величины мощности n -го вагонопотока, где $Nf(N)$ – список вагонопотоков, имеющий структуру аналогичную списку $F(Fn)$, N – количество вагонопотоков; $getm(M, t)$ – расчет величины мощности вагонопотока, движение которого начинается в момент времени t по маршруту M ; $route(f)$ – поиск оптимального маршрута движения вагонопотока мощностью f по критерию минимума затрат «с»; $route_d(f, V)$ – поиск оптимального маршрута движения вагонопотока мощностью f по критерию минимума затрат «с» с учетом ограничений на пропускную способность d , где V – список вершин, которые не входят в маршрут; $dmin(M)$ – определение минимального резерва пропускной способности дуг и вершин маршрута M ; $same(M, n, Nf)$ – поиск совпадений номеров вершин маршрута M движения n -го вагонопотока с вершинами маршрутов движения вагонопотоков из списка Nf ; $v(M, n, Nf)$ – получение списка выявленных совпадений номеров вершин маршрута M движения n -го вагонопотока с вершинами маршрутов движения вагонопотоков из списка Nf ; $getin(Nf)$ – получение списка вагонопотоков, на маршрутах движения которых выявлено совпадение номеров вершин; $downtime(n, M)$ – расчет затрат на простой вагонопотока мощностью f в начальной вершине маршрута M ; $c(M)$ – определение затрат на движение вагонопотока по маршруту M ; $ck(Kf)$ – расчет затрат на корректировку движения вагонопотоков Kf ; $p = d_i(Nf, t)$ – определение текущих резервов пропускной способности вершин маршрутов движения вагонопотоков Nf в момент времени t , где p – список вершин, имеющий структуру аналогичную списку $P(I)$; $e = d_ij(Nf, t)$ – определение текущих резервов пропускной способности дуг маршрутов движения вагонопотоков Nf в момент времени t , где e – список дуг, имеющий структуру аналогичную списку $E(IJ)$.

5. Заключение

Реализация разработанной математической модели и алгоритм в рамках информационных систем на железнодорожном транспорте позволит оперативным руководителям перевозочно-

го процесса корректировать маршруты продвижения вагонопотоков на путях необщего пользования промышленных предприятий или в железнодорожных транспортных узлах, что приведет к ускорению продвижения вагонопотоков в условиях усложнения их структуры и растущего объема грузовых перевозок.

Литература

1. АЛЕКСАНДРОВ А.Э., ЯКУШЕВ Н.В. *Стохастическая постановка динамической транспортной задачи с задержками с учетом случайного разброса времени доставки и времени потребления* // Управление большими системами. – 2006. – №12–13. – С. 5–14.
2. БАГИНОВА В.В., РАХМАНГУЛОВ А.Н., МИШКУРОВ П.Н. *Методика оценки организационной структуры оперативного управления вагонопотоками на путях необщего пользования* // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – №2. – С. 19–22.
3. БАГИНОВА В.В., РАХМАНГУЛОВ А.Н., ОСИНЦЕВ Н.А. *Контроль вагонопотоков на пути необщего пользования* // Мир транспорта. – 2010. – №3(31). – С. 108–113.
4. КОЗЛОВ П.А., МИЛОВИДОВ С.П. *Метод динамического согласования производства и транспорта* // Сб. тр. ИКТП. – 1985. – Вып. 105. – С. 156–163.
5. КОЗЛОВ П.А., ОСОКИН О.В., ПЕРМИКИН В.Ю. *Автоматизированное управление процессами в транспортном узле* // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – №2. – С. 118–122.
6. МИЛОВИДОВ С.П., КОЗЛОВ П.А. *Динамическая транспортная задача с задержками в сетевой постановке* // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1982. – №1. – С. 211–212.
7. МИШКУРОВ П.Н. *Постановка динамической транспортной задачи с учетом изменения границ расчетных периодов* // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – №1. – С. 199–202.

8. МИШКУРОВ П.Н. *Энерго- и ресурсосбережение промышленных предприятий на основе рационального управления вагонопотоками* // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 162–167.
9. РАХМАНГУЛОВ А.Н., МИШКУРОВ П.Н. *Проблемы использования методов динамического программирования при управлении вагонопотоками* // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – №2. – С. 279–285.
10. РАХМАНГУЛОВ А.Н., МИШКУРОВ П.Н. *Повышение энергоэффективности промышленного железнодорожного транспорта на основе динамической оптимизации параметров вагонопотоков* // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Вып. 3, том 1. – С. 86–91.
11. РАХМАНГУЛОВ А.Н., ОСИНЦЕВ Н.А. *Оценка резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических железнодорожных станций с использованием теории нечетких множеств* // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – Вып. 1(23). – С. 45а–49.
12. ТРОФИМОВ С.В., РАХМАНГУЛОВ А.Н. *Выбор оптимальных методов оперативного управления работой промышленных транспортных систем.* – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. – 145 с.

**IMPROVING ACCURACY OF RAILWAY CAR TRAFFIC
DYNAMIC OPTIMIZATION WITH BASE PERIOD LENGTH
VARIATION**

Pavel N. Mishkurov, Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov, Magnitogorsk, postgraduate (mishkuroff@mail.ru).

Abstract: The problem is studied of optimal railway car traffic planning for railway transportation hubs or local railways of industrial enterprises. We suggest an algorithm for car routes' adjustment. The algorithm implements the object-oriented approach.

Keywords: railway car traffic, rail transportation hub, dynamic programming, optimization period, operational management, object-oriented approach.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Д.А. Новиковым*

*Поступила в редакцию 03.06.2014.
Опубликована 31.01.2015.*