

А. А. НАЗАРОВ (Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ УКЛОНОМ СОРТИРОВОЧНОГО ПУТИ И ПЛОТНОСТЬЮ РАССТАНОВКИ ТОЧЕЧНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ СКОРОСТИ ОТЦЕПОВ

Наведено методику оцінки якості систем розподіленого регулювання швидкості відцепів на сортувальних коліях. За допомогою векторної оптимізації параметрів системи визначено раціональні співвідношення між щільністю розташування точкових вагонних уповільнювачів та ухилом сортувальної колії.

Ключові слова: сортувальна колія, уклон колії, точкові уповільнювачі, векторна оптимізація.

Наведено методику оцінки якості систем розподіленого регулювання швидкості відцепів на сортувальних коліях. За допомогою векторної оптимізації параметрів системи визначено раціональні співвідношення між щільністю розташування точкових вагонних уповільнювачів та ухилом сортувальної колії.

Ключові слова: сортувальна колія, уклон колії, точкові уповільнювачі, векторна оптимізація.

Methodology over of estimation of quality of the systems of the quasi-continues adjusting of speed of trucks is brought on sorting ways. By means of vectorial optimization on two criteria rational between nesss are certain by the closeness of placing of point carriage moderator-coolants and slope of siding.

Key words: sorting siding, slope of siding, point retarders, vectorial optimization.

Качество заполнения сортировочных путей вагонами на отечественных сортировочных станциях остается невысоким. Тому есть много причин, главными из которых являются неудовлетворительное состояние профиля и большая протяженность нерегулируемого скатывания отцепов. Качество процесса принято оценивать как минимум по двум показателям. Один из них характеризует скорость подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути, а другой полноту заполнения сортировочного пути вагонами. На сортировочных путях, оборудованных системой распределенного регулирования скорости отцепов, эти показатели зависят, прежде всего, от уклона (i) сортировочного пути и от плотности (r) расстановки точечных вагонных замедлителей.

Показатели качества работы системы обозначим через $P(i, r)$ вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью не более 1,4 м/сек, а через $G(i, r)$ степень заполнения вагонами сортировочного пути.

Возникает необходимость найти такую пару (i, r) , чтобы $P(i, r)$ и $G(i, r)$ были бы как можно большими.

В математическом плане получили задачу векторной оптимизации [1, 2] по двум критериям:

$$\begin{pmatrix} -P(i, r) \\ -G(i, r) \end{pmatrix} \rightarrow \min \quad (1)$$

при условиях, что

$$\underline{r} \leq r \leq \bar{r}; \quad \underline{i} \leq i \leq \bar{i}, \quad (2)$$

где \underline{i} , \bar{i} – минимальный и максимальный уклон, ‰.

\underline{r} , \bar{r} – минимальная и максимальная плотность расстановки точечных вагонных замедлителей, шт./м.

Для решения задачи введем следующие определения:

Определение 1.

Пара (i, r) называется эффективной, если любая её вариация приводит к ухудшению хотя бы одного показателя.

Другими словами, если (\tilde{i}, \tilde{r}) - вариация пары (i, r) , то имеет место:

$$\begin{pmatrix} P(i, r) \leq P(\tilde{i}, \tilde{r}) \\ G(i, r) \geq G(\tilde{i}, \tilde{r}) \end{pmatrix} \text{ или } \begin{pmatrix} P(i, r) \geq P(\tilde{i}, \tilde{r}) \\ G(i, r) \leq G(\tilde{i}, \tilde{r}) \end{pmatrix},$$

причем среди выписанных неравенств, должно быть хотя бы одно строгим.

Определение 2.

Две пары (i, r) называются несравнимыми, если для одной пары лучше один показатель, а

для другой пары лучше другой показатель.

Определение 3.

Решением задачи векторной оптимизации (1) будем называть такой набор пар (i, r) из области допустимых значений (2), что все они эффективные и несравнимые между собой.

Необходимое условие, что пара (i, r) является эффективной, принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial i} + t \frac{\partial G}{\partial i} = 0; \\ \frac{\partial P}{\partial r} + t \frac{\partial G}{\partial r} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где $t \geq 0$.

Пусть $i(t)$ и $r(t)$ являются решением системы (3). Отобразив эти пары так, чтобы они были несравнимыми, получаем решение задачи (1) - (2).

Последнее означает, что необходимо найти такие \underline{t} и \bar{t} , что для любого $t \in [\underline{t}, \bar{t}]$ пары $(i(t), r(t))$ удовлетворяют условиям определений 1, 2.

Определение \underline{t} и \bar{t} производим следующим образом:

В пространстве функционалов P, G строим множество S эффективных точек для $t \geq 0$.

Среди элементов множества S отбираем точки, удовлетворяющие условию:

$$Kp(A) \cap S = \{A\}, \quad (4)$$

где $Kp(A)$ – конус Парето с вершиной в точке A .

Находим множество таких точек, для каждой из которых пересечение конуса Парето с областью S вырождается в точку. Геометрическое представление соотношения (4) представлено на рис. 1.

Прежде чем воспользоваться изложенной методикой, выполним аппроксимацию $P(i, r)$, $G(i, r)$, полученную с помощью математического моделирования процесса скатывания отцепов.

В результате математического моделирования скатывания отцепов на сортировочный путь, оснащенный системой распределенного регулирования скорости отцепов с использованием точечных вагонных замедлителей (ТВЗ) [3, 4], получена информация о $P(i, r)$ и $G(i, r)$, на основании анализа которых установлены

зависимости $P=f(i, r)$ и $G=f(i, r)$ с помощью метода наименьших квадратов:

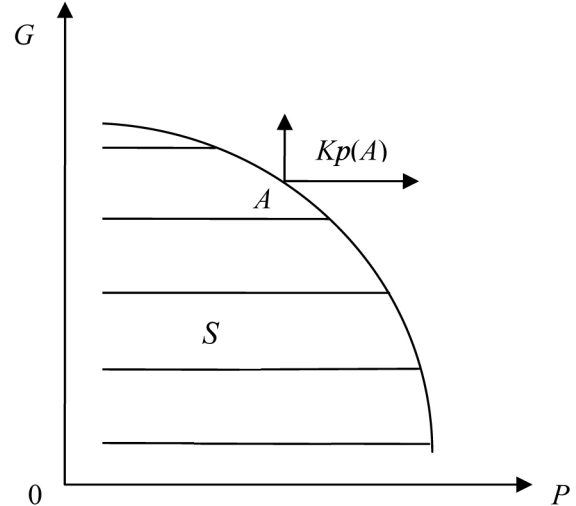


Рис. 1. Геометрическая интерпретация условия (4)

$$P = 0,0956 + 0,5874r + 0,3941i - 0,9483r^2 + 0,3271ri - 0,1067i^2; \quad (5)$$

$$G = 0,4266 - 0,0642r + 0,1189i + 0,0618r^2 - 0,0146ri - 0,0201i^2. \quad (6)$$

Зависимости представляют собой уравнения поверхностей. Эти поверхности $P(i, r)$ и $G(i, r)$ представлены на рис. 2 и 3.

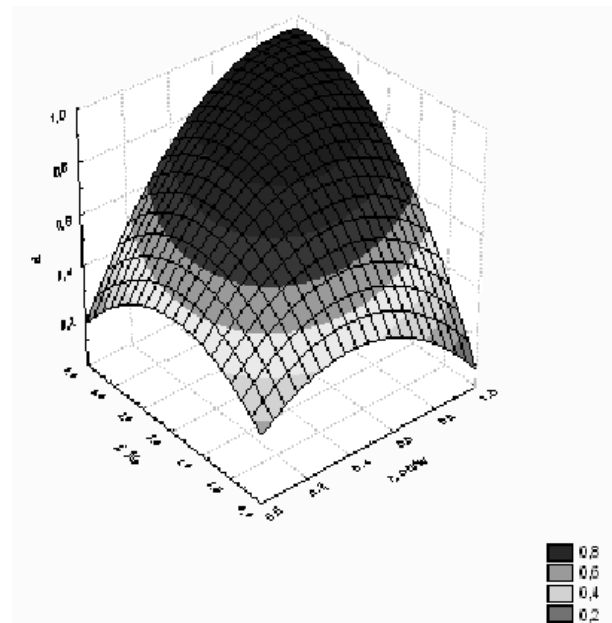


Рис. 2. Поверхность $P(i, r)$.

Рис. 2 и 3 свидетельствуют о том, что поверхности выпуклые. Этот факт указывает на

то, что все эффективные варианты являются несравнимыми между собой.

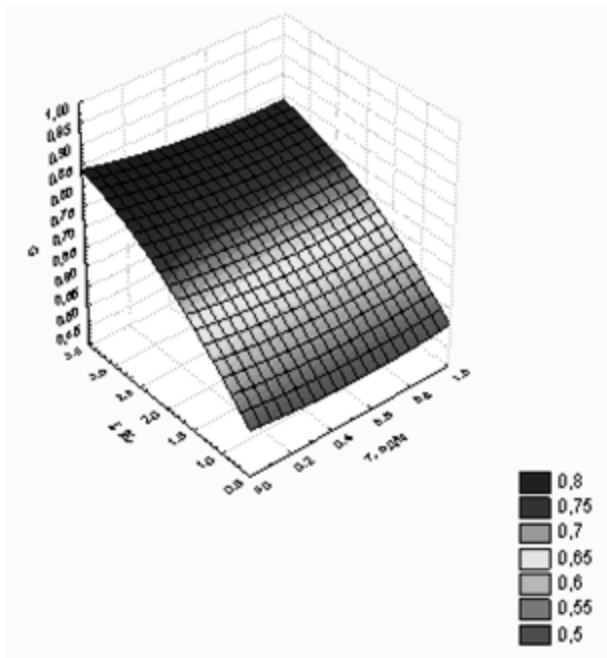


Рис. 3. Поверхность $G(i, r)$.

В соответствии с выше изложенной методикой, вычисляем градиенты функций $P(i, r)$ и $G(i, r)$, полагая:

$$P1 = \frac{\partial P}{\partial i}; \quad P2 = \frac{\partial P}{\partial r};$$

$$G1 = \frac{\partial G}{\partial i}; \quad G2 = \frac{\partial G}{\partial r};$$

которые в нашем случае будут равны:

$$P1 = 0,3941 + 0,3271r - 0,2134i;$$

$$P2 = 0,5874 - 1,8966r + 0,3271i;$$

$$G1 = 0,5874 - 1,896r + 0,3271i;$$

$$G2 = -0,0642 + 0,1236r - 0,0146i.$$

Используя пакет символьных вычислений Maple [5] решаем систему уравнений (3), а именно:

$$\begin{cases} P1 + tG1 = 0; \\ P2 + tG2 = 0. \end{cases}$$

```
>A:=evalf(solve({P1+t*G1=0,P2+t*G2=0},{i,r}),5):
```

```
>if
      op(1,op(1,A))=r
then
```

```
      r:=op(2,op(1,A)):
      i:=op(2,op(2,A)):
else
      r:=op(2,op(2,A)):
      i:=op(2,op(1,A)):
end if;
```

Решение $r(t)$ и $i(t)$ в специальных функциях Maple имеют вид:

$$r = -\frac{533880 \cdot t^2 - 0,65949 \cdot 10^7 t - 0,25426 \cdot 10^8}{-0,29774 \cdot 10^8 - 0,59418 \cdot 10^7 t + 518190 \cdot t^2};$$

$$i = \frac{12 \cdot (186760 \cdot t^2 - 0,23332 \cdot 10^7 t - 0,78229 \cdot 10^7)}{-0,29774 \cdot 10^8 - 0,59418 \cdot 10^7 t + 518190 \cdot t^2}.$$

Графики зависимостей переменных $r(t)$ и $i(t)$ от параметра t представлены на рис. 4, 5.

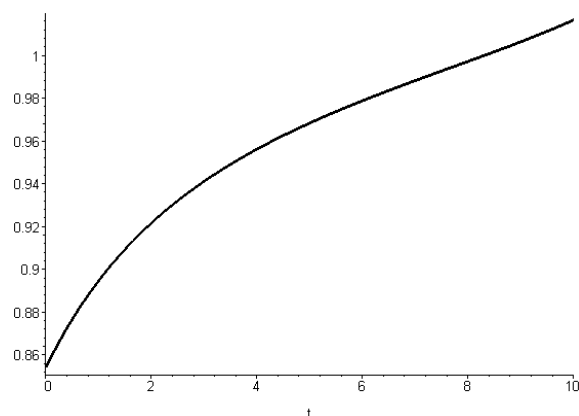


Рис.4. Графическое представление $r(t)$.

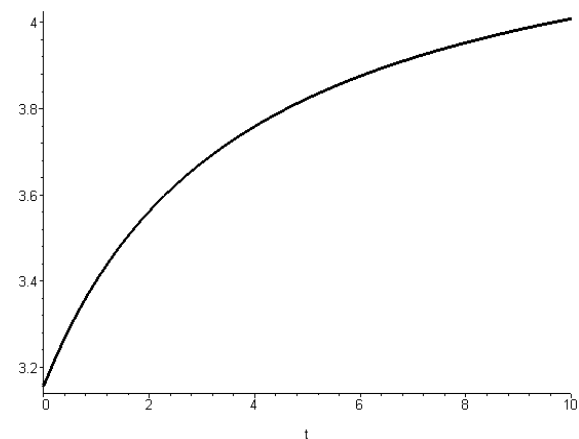


Рис. 5. Графическое представление $i(t)$

Исключив из $r(t)$ и $i(t)$ параметр t , получим зависимость $i = f(r)$, которая представлена на рис. 6.

Из рис. 6 следует, что если плотность точечных вагонных замедлителей изменяется в пределах $[0,86;1,00]$ замедлителей на метр, а

соответствующие уклоны принадлежат интервалу $[3,2;4,0]$ ‰, то это обеспечивает рациональную связь между P и G представленную на рис. 7.

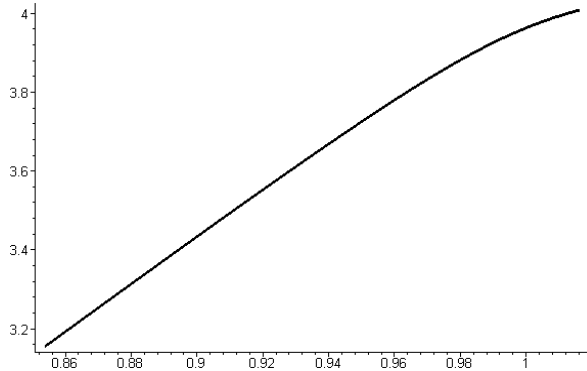


Рис. 6. Графическое представление $i = f(r)$.

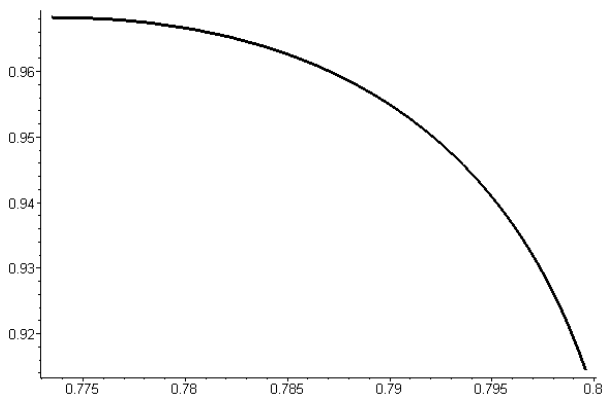


Рис. 7. Графическое представление $P = f(G)$.

Полученное рациональное соотношение между P и G , показанное на рис. 7 позволяет решать следующие задачи:

1. Задаемся вероятностью подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью 0,95, тогда степень заполнения сортировочного пути вагонами будет равна 0,792;
2. Задаемся степенью заполнения сортировочного пути вагонами равной 0,78, тогда вероятность подхода отцепов к вагонам на сортировочном пути с безопасной скоростью получим равной 0,966.

Если подставить выбранные значения в

выражения (5) и (6), то получим значения параметров системы r и i , при которых достигаются данные показатели качества процесса заполнения сортировочных путей вагонами.

Полученные зависимости позволяют определить рациональные соотношения между параметрами системы распределенного регулирования скорости отцепов на сортировочных путях для получения максимальных показателей качества заполнения вагонами сортировочных путей, оборудованных ТВЗ. Для достижения таких показателей уклон сортировочного пути должен быть в пределах 3,2-4,0 ‰, а плотность расстановки точечных вагонных замедлителей порядка 0,86-1,0 замедлитель на метр пути.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Босов, А. А. Функции множества и их применение [Текст]: Монография / А. А. Босов. – Днепро-дзержинск: Видавничий дім «Андрій», 2007. – 182 с.
2. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.
3. Назаров, А. А. Анализ возможности применения систем квазинепрерывного регулирования скорости отцепов типа DOWTY на сортировочных горках [Текст] / А. А. Назаров // Сб. науч. трудов КУЭТТ «Транспортные системы и технологии». – Вип. 4. – К.: КУЭТТ, 2004, с. 61-66.
4. Назаров, О. А. Оптимизация параметров системы квазинепрерывного регулирования скорости отцепов на показатели качества прицельного торможения [Текст] / О. А. Назаров // Тези 68-й Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д.: ДНУЗТ, 2008. – С. 60-61.
5. Матросов, А. В. Maple 6. Решение задач высшей математики и механики [Текст] / А. В. Матросов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2001. – 528 с.

Поступила в редколлегию 11.09.2012.

Принята к печати 12.09.2012.