



Минимизация затрат на плановые виды ремонта



Анатолий БЫКОВ
Anatoly I. BYKOV

Руслан ПЕТИЛАВА
Ruslan A. PETILAVA



Быков Анатолий Иванович — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Петилava Руслан Александрович — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

Разработана методика, позволяющая однозначно определить наиболее оптимальное по экономическим критериям вагоноремонтное предприятие для прохождения плановых видов ремонта вагонов и цистерн. В качестве способа определения экстремума целевой функции минимизации затрат используется математическое линейное программирование.

Ключевые слова: железная дорога, экономика, конкуренция, ремонт вагонов, минимизация затрат, методика расчета, математическое линейное программирование.

Структура центральной дирекции по ремонту вагонов в холдинге ОАО «РЖД» была 1 июля 2011 года реорганизована и вместо нее созданы три независимые друг от друга вагонные ремонтные компании (ВРК). Одна из основных целей преобразования — дальнейшее развитие рынка ремонта грузовых вагонов за счёт повышения уровня конкуренции и качества предоставляемых услуг.

Действительно, после образования трех ВРК у собственника появился выбор, в какой компании выгоднее ремонтировать вагоны. В зависимости от удаленности вагонных ремонтных депо (ВЧДр) от места отцепки времени нахождения вагона в ожидании и непосредственно в ремонте, цены на проведение планового ремонта, качества работы и множества других факторов предпочтение отдается тому или иному предприятию. Однако из-за ограничения в мощности близлежащих ремонтных депо, а также большего или меньшего количества факторов, влияющих на затраты, выбрать предприятия, где ремонт был бы наименее затратен, довольно трудоемко. Встающая в связи с этим проблема является примером задачи на определение

экстремума целевой функции, которым выступает сумма затрат на организацию деповского ремонта. Решать ее предлагается методами математического линейного программирования.

Предполагается, что на станции выгрузки забраковали некоторое количество вагонов, которые могут в кратчайшие сроки отремонтировать любые из рассматриваемых в задаче вагоноремонтные предприятия. Тогда общую сумму затрат на проведение ремонта можно записать в виде:

$$\sum Z = Z_{ep} + Z_{op} + Z_{mp} + Z_{uzp}, \quad (1)$$

где Z_{ep} – затраты на передислокацию вагонов от станции погрузки до вагоноремонтного предприятия,

Z_{op} – затраты на проведение планового ремонта,

Z_{mp} – затраты на предполагаемый текущий ремонт, которые зависят от качества проведенного планового ремонта,

Z_{uzp} – затраты на передислокацию вагонов от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки.

Затраты на передислокацию вагонов в плановый ремонт (Z_{op}) составляют:

$$Z_{op} = T_{ep} + t_{ep} \times Pr,$$

где T_{ep} – тариф за передислокацию вагонов от станции погрузки до вагоноремонтного предприятия,

t_{ep} – время, затрачиваемое на передислокацию вагона от станции отцепки до вагоноремонтного предприятия,

Pr – доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Затраты на плановый ремонт вагона (Z_{op}):

$$Z_{op} = \Pi_{op} + t_{op} \times Pr,$$

где Π_{op} – цена планового ремонта вагона,

t_{op} – время простоя вагона в плановом ремонте,

Pr – доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Возможные потери от некачественного деповского ремонта (Z_{mp}):

$$Z_{mp} = (1-k) \times (t_{mp} \times Pr + \Pi_{mp}),$$

где k – коэффициент качества вагоноремонтного предприятия,

t_{mp} – время простоя вагона в текущем отцепочном ремонте,

Π_{mp} – цена текущего отцепочного ремонта вагона,

Pr – доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Расходы на передислокацию вагона от вагоноремонтного предприятия к месту погрузки:

$$Z_{uzp} = T_{uzp} + t_{uzp} \times Pr,$$

где T_{uzp} – тариф за передислокацию вагонов от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки,

t_{uzp} – время, затрачиваемое на передислокацию вагона от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки,

Pr – доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Подставив составляющие различных расходов на ремонт в формулу (1), получим:

$$\sum Z = (T_{ep} + t_{ep} \times Pr) + (\Pi_{op} + t_{op} \times Pr) + [(1-k) \times (t_{mp} \times Pr + \Pi_{mp})] + (T_{uzp} + t_{uzp} \times Pr).$$

Реализуя методы математического линейного программирования, предполагаем, что за определенный период времени (месяц, квартал, год) со станций выгрузки в плановый ремонт на любое рассматриваемое в задаче вагоноремонтное предприятие отправляются n вагонов. После завершения планового ремонта вагоны должны быть переадресованы на станции погрузки. Тогда общая стоимость технического обслуживания данных вагонов $\sum Z$ будет равна:

$$\begin{aligned} \sum Z = & (Z_{ep11} + Z_{op1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{111} + \\ & (Z_{ep21} + Z_{op1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{211} + \dots \\ & + (Z_{epk1} + Z_{op1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{k11} + \dots \\ & + (Z_{epk1} + Z_{op1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{k11} + \dots \\ & + (Z_{epk2} + Z_{op2} + Z_{mp2} + Z_{uzp11}) \times n_{k21} + \dots \\ & + (Z_{epkl} + Z_{opl} + Z_{mpl} + Z_{uzp11}) \times n_{kl1} + \dots \\ & + (Z_{epkl} + Z_{opl} + Z_{mpl} + Z_{uzp11}) \times n_{kl1} + \dots \\ & + (Z_{epkl} + Z_{opl} + Z_{mpl} + Z_{uzp12}) \times n_{kl2} + \dots \\ & + (Z_{epkl} + Z_{opl} + Z_{mpl} + Z_{uzp1p}) \times n_{klp}, \end{aligned}$$

где k – номер станции отцепки вагона, l – номер вагоноремонтного предприятия, в котором вагон проходит плановый вид ремонта,

p – номер станции погрузки вагона.

Из приведенной формулы видно, что общая стоимость планового ремонта вагонов является линейной функцией от параметра n_{klp} . Доказано, что такие функционалы обязательно имеют экстремумы при любых ог-



раничениях параметра $n_{кр}$. В нашем случае надо искать минимум функционала, что будет означать минимум затрат на плановый ремонт вагонов. В качестве ограничений можно рассматривать максимальное количество вагонов, которое предприятие способно отремонтировать за определенный промежуток времени; невозможность направления вагонов на техническое обслуживание на определенные предприятия по тем или иным причинам; обязательную поставку оговоренного количества вагонов (по договорным условиям) в требуемые ВЧДр, а также многие другие условия.

Отдельно следует рассмотреть затраты на плановый ремонт цистерн, поскольку они требуют обязательного прохождения промывопропарочных станций. Исходя из сказанного к общим затратам на вагон следует прибавить тариф на передислокацию от станции выгрузки до промывопропарочных станций, стоимость промывопропарочных работ и тариф на перегон цистерн от промывопропарочных станций до вагоноремонтного предприятия, имеющего лицензию на выполнение плановых видов ремонта. Подставляя дополнительные условия в формулу (1), получим:

$$\sum Z = Z_{впр} + Z_{нр} + Z_{ер} + Z_{др} + Z_{мр} + Z_{изр} \quad (2),$$

где $Z_{впр}$ — затраты на передислокацию цистерн от станции выгрузки до промывопропарочных станций,

$Z_{нр}$ — затраты на промывопропарочные работы,

$Z_{ер}$ — затраты на передислокацию цистерн от промывопропарочных станций до вагоноремонтного предприятия,

$Z_{др}$ — затраты на проведение планового ремонта,

$Z_{мр}$ — затраты на предполагаемый текущий ремонт, которые зависят от качества проведенного планового ремонта,

$Z_{изр}$ — затраты на передислокацию цистерн от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки.

Затраты на передислокацию цистерн на промывопропарочную станцию:

$$Z_{впр} = T_{впр} + t_{впр} \times Pr,$$

где $T_{впр}$ — тариф за передислокацию цистерн от станции выгрузки до промывопропарочной станции,

$t_{впр}$ — время, затрачиваемое на передислокацию цистерн от станции выгрузки до промывопропарочной станций,

Pr — доход, приносимый цистерной за одни сутки.

Затраты на промывопропарочные работы определяются:

$$Z_{нр} = U_{нр} + t_{нр} \times Pr,$$

где $U_{нр}$ — цена промывопропарочных работ,

$t_{нр}$ — время простоя вагона в плановом ремонте,

Pr — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Затраты за передислокацию цистерн от промывопропарочной станции вагоноремонтного предприятия:

$$Z_{ер} = T_{ер} + t_{ер} \times Pr,$$

где $T_{ер}$ — тариф за передислокацию вагонов от станции погрузки до вагоноремонтного предприятия,

$t_{ер}$ — время, затрачиваемое на передислокацию вагона от станции отцепки до вагоноремонтного предприятия,

Pr — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Затраты на проведение планового ремонта:

$$Z_{др} = U_{др} + t_{др} \times Pr,$$

где $U_{др}$ — цена планового ремонта вагона,

$t_{др}$ — время простоя вагона в плановом ремонте,

Pr — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Затраты на предполагаемый текущий ремонт, которые зависят от качества проведенного планового ремонта, определяются:

$$Z_{мр} = (1 - k) \times (t_{мр} \times Pr + U_{мр}),$$

где k — коэффициент качества вагоноремонтного предприятия,

$t_{мр}$ — время простоя вагона в текущем отцепочном ремонте,

$U_{мр}$ — цена текущего ремонта вагона.

Затраты на передислокацию цистерн из вагоноремонтного предприятия на станцию погрузки:

$$Z_{изр} = T_{изр} + t_{изр} \times Pr,$$

где $T_{изр}$ — тариф за передислокацию вагонов от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки,

$t_{изр}$ — время, затрачиваемое на передислокацию вагона от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки,

Pr — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Подставляя полученные выражения

$$\begin{aligned}
\sum Z = & (Z_{enp11} + Z_{np1} + Z_{ep11} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{1111} + \\
& + (Z_{enp21} + Z_{np1} + Z_{ep11} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times \\
& \times n_{2111} + \dots + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep11} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{k111} + \dots + \\
& + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep11} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{1111} + (Z_{enpk2} + Z_{np2} + Z_{ep21} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times \\
& \times n_{k211} + \dots + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep11} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{kl11} + \dots + \\
& + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{epk1} + Z_{dp1} + Z_{mp1} + Z_{uzp11}) \times n_{kl11} + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep12} + Z_{dp2} + Z_{mp2} + Z_{uzp11}) \times \\
& \times n_{kl21} + \dots + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{epklm} + Z_{dpm} + Z_{mpm} + Z_{uzp11}) \times n_{klm1} + \dots + \\
& + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep1m} + Z_{dpm} + Z_{mpm} + Z_{uzp11}) \times n_{klm1} + \\
& + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep1m} + Z_{dpm} + Z_{mpm} + Z_{uzp12}) \times n_{klm2} + \dots \\
& + (Z_{enpk1} + Z_{np1} + Z_{ep1m} + Z_{dpm} + Z_{mpm} + Z_{uzp1p}) \times n_{klmp}
\end{aligned} \quad (3)$$

в формулу (2), получим (3), где k – номер станции выгрузки цистерн,

l – номер промывопропарочной станции,

m – номер вагоноремонтного предприятия, в котором цистерна проходит плановый вид ремонта,

p – номер станции погрузки вагона.

Реализуя разработанную методику, получаем систему, позволяющую оптимизировать схемы отправки вагонов в плановые виды ремонта, и следовательно, значительно уменьшаем связанные с этим затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устич П. А., Иванов А. А., Митюхин В. Б. Концепция интеллектуального управления // Мир транспорта. – 2008. – № 3. – С. 4–11.
2. Сирина Н. Ф., Симонов А. М. Оценка конкурентоспособности вагоноремонтного предприятия // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3. – С. 66–74.
3. Васильев Ф. П., Иваницкий А. Ю. Линейное программирование. – М.: Факториал Пресс, 2008. – 328 с.
4. Амосов А. А., Дубинский Ю. А., Копченова Н. В. Вычислительные методы для инженеров. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.
5. Пастухов И. Ф., Лукин В. В., Жуков Н. И. Вагоны. – М.: Транспорт, 1988. – 280 с.

MINIMIZATION OF CHARGES FOR SCHEDULED REPAIRS

Bykov, Anatoly I. – D. Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Petilava, Ruslan A. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

The authors have developed method, that allow, focusing on economic criteria, to identify optimal car repair shop for scheduled repairs of cars, wagons

and tank-cars. As a tool to determine extremum of objective function of minimization of costs they use linear programming.

Key words: railway, economics, competition, car repair, minimization of costs, method of computation, linear programming.

REFERENCES

1. Ustich P. A., Ivanov A. A., Mityuhin V. B. Concept of Intellectual Management. *Mir Transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2008, Vol. 23, Iss. 3, pp. 4–11.

2. Sirina N. F., Simonov A. M. Assessment of competitiveness of car repair enterprise [Otsenka konkurentosposobnosti vagonoremontnogo predpriyatiya]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta puty soobscheniya*, 2011, № 3, pp. 66–74.

3. Vasil'ev F.P., Ivanitskiy A. Yu. Linear programming [Lineynoe programmirovaniye]. Moscow, Faktorial Press, 2008, 328 p.

4. Amosov A. A., Dubinskiy Yu. A., Kopchenova N. V. Computation methods for engineers [Vychislitel'nye metody dlya inzhenerov]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1994, 544 p.

5. Pastuhov I. F., Lukin V. V., Zhukov N. I. Rail cars [Vagony]. Moscow, Transport publ., 1988, 280 p.

Координаты авторов (contact information): Быков А. И. (Bykov A. I.) – bykfro@mail.ru, Петилава Р. А. (Petilava R. A.) – petilav@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 11.04.2013
Принята к публикации / article accepted 26.05.2013

