



# Оптимизация распределения программы ремонтов электровозов



Алексей СКРЕБКОВ  
Alexey V. SKREBKOV

Сергей ЗИНЧЕНКО  
Sergey A. ZINCHENKO



*Скрёбков Алексей Валентинович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

*Зинченко Сергей Александрович* – ведущий научный сотрудник отделения перспективного моделирования перевозочного процесса ОАО «Институт экономики и развития транспорта» (ИЭРТ).

***Распределение локомотивов между ремонтными депо является функцией факторов экономического, производственно-технологического и эксплуатационного характера.***

***Состав каждой из этих групп факторов оказывает влияние на распределение программы ремонтов локомотивов.***

***Ключевые слова:*** локомотив, ремонт, оптимизация, депо, потребности, расходы, ремонтная мощность, распределение.

**С**овершенствование системы эксплуатации и ремонта локомотивов на сети железных дорог предполагает внедрение полигонной технологии. В связи с разделением функций эксплуатации локомотивов и их ремонтов между локомотивными депо возникла ситуация, когда на базе одного предприятия выполняются ремонты локомотивов приписки различных эксплуатационных депо.

Такой процесс требует проработки, поскольку увеличивается программа ремонтов в ремонтном депо, что может привести к образованию «очереди» локомотивов, ожидающих приема в одних депо, и недоиспользованию мощности в прочих депо. С другой стороны, слабая загрузка ремонтных предприятий приводит к простаиванию ремонтных позиций в ожидании поступления локомотивов. Все описанные ситуации в своем итоге приводят к экономическим потерям, росту расходов на содержание как подвижного состава, так и технологического оборудования. Кроме того, надо учитывать расходы на транспортировку локомотива в ремонт и из ремонта.

В связи с этим возникает задача оптимизации производственных мощностей ремонтных локомотивных депо, что позволит добиться повышения качества выполнения ремонтов благодаря специализации, укрупнению и росту загрузки предприятий, обеспечит снижение затрат путем перепрофилирования или ликвидации незагруженных ремонтных мощностей.

### I.

В качестве целевой функции при оптимизации распределения программы ремонтов локомотивов по ремонтным локомотивным депо использована функция суммарных расходов на удовлетворение потребностей в выполнении ремонтов. Критерием оптимальности в данной задаче является минимум целевой функции, то есть минимизация расходов на выполнение ремонтов при полном удовлетворении потребностей в них в границах полигона эксплуатации.

Очевидно, что в различных ремонтных депо для выполнения ремонта односерийных локомотивов одного и того же объема расходуется разное количество материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Это вызвано различной степенью механизации и автоматизации ремонтного производства, оснащенности средствами диагностирования, дополнительными выплатами к заработной плате ремонтного персонала, накладными расходами и т. п. Таким образом расходы на выполнение ремонтов определяются их себестоимостью, то есть целевая функция является суммарной себестоимостью выполнения ремонтов на полигоне эксплуатации локомотивов, и чем она ниже, тем эффективнее работает локомотиворемонтный комплекс.

При рассмотрении варианта выполнения ремонта на другом полигоне (с учетом недостатка собственных мощностей) в эту функцию необходимо также включить расходы, связанные с пересылкой локомотива и включающие в себя упущенную выгоду от непроизводительного его простоя в процессе перемещения к месту ремонта и обратно. Кроме того, в перспективе возможно введение тарифа за пользование инфраструктурой ОАО «РЖД» в процессе пересылки, что тоже скажется на общих ремонтных расходах.

Поскольку при перемещении локомотива к месту выполнения ремонта и обратно, а также во время его вынужденного простоя он исключается из эксплуатируемого парка, следует учитывать отдельную составляющую расходов, относящихся к капитальным затратам на приобретение дополнительных локомотивов.

С учетом отмеченных особенностей в общем виде целевая функция будет записана следующим образом:

$$Q = C_{CEB} + C_{yB} + 2C_T + K, \quad (1)$$

где  $Q$  – суммарные затраты на выполнение ремонтов, руб.;

$C_{CEB}$  – себестоимость выполнения ремонтов, руб.;

$C_{yB}$  – упущенная выгода от простоя локомотивов в ремонте, руб.;

$C_T$  – тариф за пересылку локомотива к месту выполнения ремонта, руб.;

$K$  – капитальные вложения на приобретение дополнительных локомотивов, руб.

Соответственно, для каждого отдельно взятого локомотива себестоимость выполнения ремонта  $C_{CEB}$  в каждом ремонтном локомотивном депо совершенно определена.

Упущенная выгода от простоя одного локомотива в ремонте:

$$C_{yB} = C_{лч} \cdot \left( 2 \frac{L}{v_{yч}} + t_p \right), \quad (2)$$

где  $C_{лч}$  – стоимость одного часа простоя локомотива в ожидании работы без локомотивной бригады, руб.;

$L$  – расстояние между депо приписки локомотива и ремонтным локомотивным депо, км.;

$v_{yч}$  – средняя участковая скорость, км/ч;

$t_p$  – норма времени простоя локомотива на ремонте, ч.

Расстояния между депо приписки локомотива и ремонтным локомотивным депо, используемые в расчетах, устанавливаются в соответствии с книгой 3 «Тарифные расстояния между транзитными пунктами железных дорог федерального железнодорожного транспорта» тарифного руководства № 4.

Тариф за пересылку локомотива к месту выполнения ремонта  $C_T$  определяется на основании прейскуранта № 10–01 «Тарифы на перевозку грузов и услуги инфра-





структуры, выполняемые российскими железными дорогами» по тарифной схеме № 28 «Локомотивы, тендеры локомотивов, краны и путевые машины, другое передвижное оборудование на железнодорожном ходу и другие типы вагонов длиной более 25 метров, кроме указанных в тарифных схемах № 25–27» по формуле:

$$C_T = 1,936 \cdot k \cdot L, \quad (3)$$

где  $k$  – количество осей.

Капитальные вложения на приобретение дополнительных локомотивов  $K$  взамен отправленного в ремонт:

$$K = \frac{1}{24 \cdot 365} \cdot C_L \cdot \left( 2 \frac{L}{v_{\text{вч}}} + t_p \right), \quad (4)$$

где  $C_L$  – стоимость локомотива, руб.

Стоимость локомотива учитывает предельный уровень цен, установленный протоколом № 17 от 10 ноября 2010 года заседания комиссии ОАО «РЖД» по ценам.

Рассчитав затраты на выполнения ремонта одного локомотива, можно определить суммарные затраты на всю планируемую программу ремонтов.

## II.

Для составления плана оптимального распределения локомотивов по ремонтным предприятиям целесообразно использовать симплекс-метод линейного программирования [1, 2], который позволяет находить минимум или максимум линейной функции конечного числа переменных при условии, что переменные удовлетворяют конечному числу дополнительных условий (ограничений), имеющих вид линейных уравнений или линейных неравенств.

То есть решаемая задача относится к виду транспортных и сводится к определению оптимального распределения локомотивов по ремонтным предприятиям при условии, что программа ремонтов будет полностью выполнена, производственные мощности будут полностью использованы, а суммарные затраты на проведение ремонтов локомотивов окажутся минимальны.

Ограничения симплекс-метода служат для отображения списка граничных условий поставленной задачи. Для ее решения введем обозначения:  $n$  – число ремонтных локомотивных депо;  $m$  – число эксплуатационных депо, имеющих потребность в ремонте локомотивов.

Потребности  $i$ -го эксплуатационного депо ( $i = \{1, 2, \dots, m\}$ ), нуждающегося в ремонте локомотивов, заданы числом  $\alpha_i$ , а производственные мощности  $j$ -го ремонтного локомотивного депо ( $j = \{1, 2, \dots, n\}$ ) – его расчетной мощностью  $b_j$ .

Обозначим планируемый объем отправки локомотивов  $i$ -го эксплуатационного депо к  $j$ -му ремонтному предприятию как  $x_{ij}$ .

Для одного локомотива стоимость ремонта с учетом его себестоимости в  $j$ -м ремонтном локомотивном депо, транспортных расходов на перемещение из  $i$ -го эксплуатационного депо к  $j$ -му ремонтному предприятию и дополнительных капитальных вложений обозначим как  $c_{ij}$ .

Для правильного решения задачи рассмотрим более подробно условия (ограничения) распределения локомотивов по ремонтным предприятиям:

1) заявки на ремонт локомотивов от эксплуатационных депо должны быть выполнены полностью;

2) суммарное количество заявок на ремонт от эксплуатационных депо должно быть не более расчетной мощности каждого ремонтного предприятия;

3) суммарное количество заявок на ремонт от эксплуатационных депо не может быть отрицательным, то есть поток ремонта имеет только одно направление – от эксплуатационных депо к ремонтным предприятиям.

Для существования допустимого плана распределения локомотивов должен сохраняться баланс между ремонтными предприятиями, занимающимися ремонтом, и эксплуатационными депо:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j = D. \quad (5)$$

В этом случае транспортная задача относится к сбалансированному (закрытому) типу. Если же указанное условие не выполняется, то модель транспортной задачи называется открытой. Но модель открытого типа всегда можно привести к закрытому типу введением фиктивного ремонтного предприятия, производящего ремонт локомотивов, или фиктивного эксплуатационного депо, нуждающегося в ремонте.

При превышении производственных возможностей ремонтного предприятия над потребностями, то есть  $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$ , вводится фиктивное  $(m+1)$  эксплуатационное депо с потребностью  $a_{m+1} = \sum_{j=1}^m b_j - \sum_{i=1}^m a_i$ , а соответствующие стоимости принимаются равными нулю:  $c_{m+1,j} = 0, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

Аналогично при  $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$  вводится фиктивное  $(n+1)$  ремонтное предприятие с производственной мощностью  $b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$ , а соответствующие стоимости тоже принимаются равными нулю:  $c_{i,n+1} = 0, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ . Этим задача сводится к обычной транспортной, из оптимального плана которой получается оптимальный план исходной задачи.

Решение транспортной задачи осуществляется стандартными методами с использованием ЭВМ. То есть для поиска оптимального распределения локомотивов между ремонтными предприятиями необходимо минимизировать суммарные затраты на их ремонт и транспортировку. Целевая функция (1) в этом случае примет вид:

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (6)$$

при ограничениях

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i, i \in \{1, 2, \dots, m\} \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\leq b_j, j \in \{1, 2, \dots, n\} \\ x_{ij} &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

### III.

В соответствии с принятыми параметрами «Генеральной схемы развития железнодорожного транспорта ОАО «РЖД» на 2015 и 2020 годы» на основании перспективных размеров движения грузовых и пассажирских поездов, в том числе грузовых тяжеловесных, определены потребный эксплуатируемый парк магистральных

электровозов постоянного тока на полигонах эксплуатации на перспективу до 2015 и 2020 годов, а также годовая программа их ремонтов в объеме СР и ТР-3 (рис. 1). Общая потребность в ремонтах в 2015 году составляет 994 единицы, а в 2020 году – 1013 единиц.

Анализ показывает, что на Куйбышевском полигоне наблюдается уменьшение потребности в ремонте в 2020 году по сравнению с 2015 годом за счет его насыщения новыми сериями локомотивов, имеющих увеличенные межремонтные пробеги относительно существующих серий. На Октябрьском, Московском, Южном и Уральском полигонах потребность в ремонте в 2020 году увеличится по сравнению с 2015 годом, а в целом по сети железных дорог ОАО «РЖД» увеличение составит 19 единиц. Распределение приростов потребности в ремонте показано на рис. 2.

Производственные мощности депо по выполнению ремонтов СР и ТР-3 магистральных электровозов постоянного тока приведены на рис. 3.

Суммарная мощность локомотивных ремонтных депо по выполнению этих видов ремонтов составляет 1348 единиц.

Себестоимости ремонтов иллюстрирует рис. 4. Средняя себестоимость проведения ремонта 4108,07 тыс. руб.

Баланс фактических мощностей и потребностей в ремонте демонстрирует рис. 5. В целом на 2015 год будет наблюдаться избыток мощностей, составляющий 84 электровоза, а в 2020 году – 65 электровозов.

Анализ рис. 5 показывает, что избыток мощностей, имеющийся на Куйбышевском и Уральском полигонах, можно использовать для удовлетворения потребностей в ремонтах Октябрьского, Московского и Южного полигонов.

На основании приведенных исходных данных с помощью симплекс-метода выполнена оптимизация распределения программы ремонтов электровозов постоянного тока между ремонтными локомотивными депо. Результаты оптимизации представлены в таблицах 1 и 2. В скобках указано: в заголовках боковика – фактическая мощность локомотивных ремонтных депо; в заголовках граф – потребность в ремонте на полигоне.



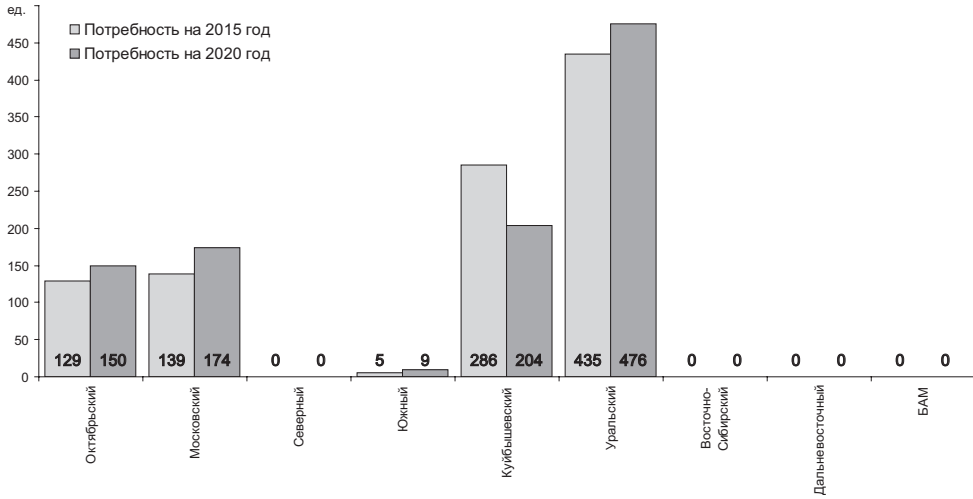


Рис. 1. Потребность в проведении ремонтов магистральных электровозов постоянного тока на 2015 и 2020 годы.

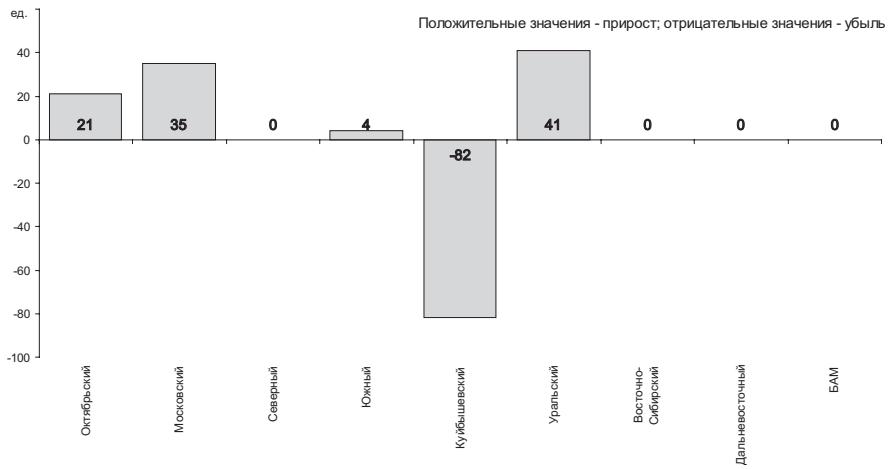


Рис. 2. Распределение приростов потребности в ремонте магистральных электровозов постоянного тока к 2020 году.

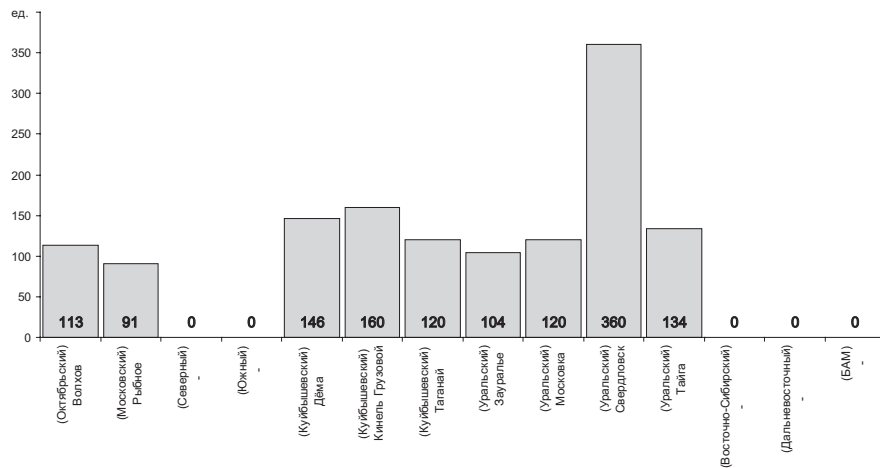
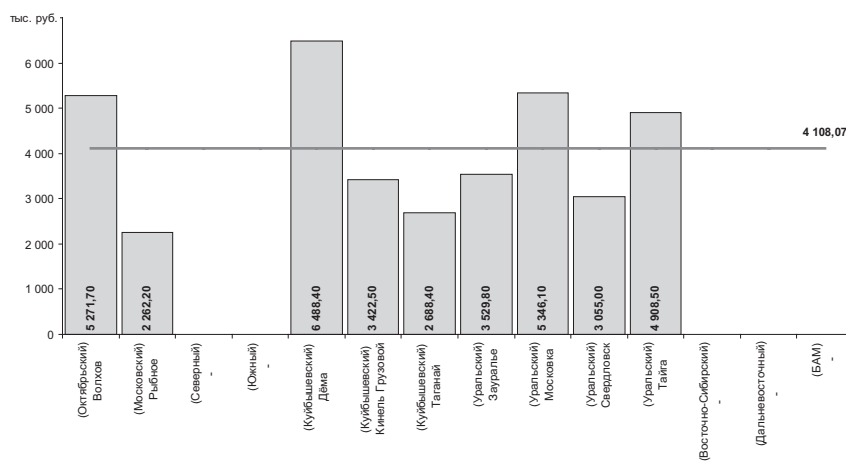
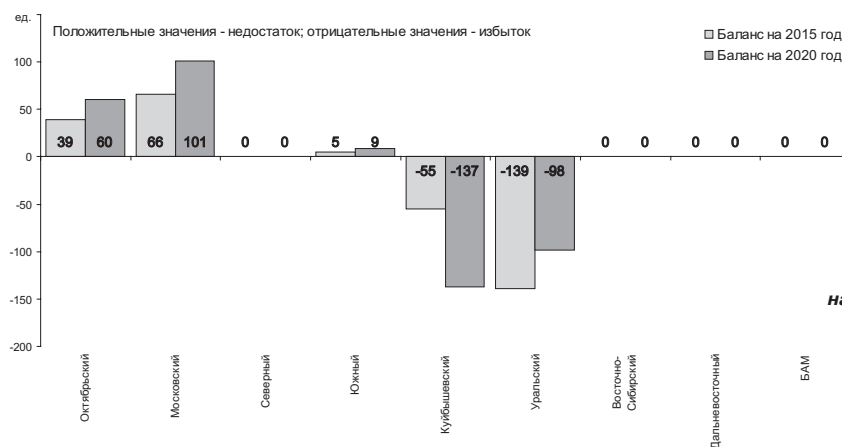


Рис. 3. Расчетные мощности по производству ремонтов TP-3 и CP магистральных электровозов постоянного тока.



**Рис. 4.**  
Себестоимости ремонтов магистральных электровозов постоянного тока.



**Рис. 5.** Баланс фактических мощностей и потребностей в ремонте на 2015 и 2020 годы.

**Таблица 1**

**Распределение программы ремонтов магистральных электровозов постоянного тока в 2015 году**

|  |                       | Полигоны эксплуатации электровозов |                  |           |                    |                 | Резерв мощностей ремонтного локомотивного депо |
|--|-----------------------|------------------------------------|------------------|-----------|--------------------|-----------------|--|
|  |                       | Октябрьский (129)                  | Московский (139) | Южный (5) | Куйбышевский (286) | Уральский (435) |  |
| Ремонтные локомотивные депо                  | Волхов (90)           | 90                                 | 0                | 0         | 0                  | 0               | 0  |
|  | Рыбное (73)           | 0                                  | 73               | 0         | 0                  | 0               | 0  |
|  | Де́ма (117)           | 0                                  | 0                | 0         | 33                 | 0               | 84   |
|  | Кинель Грузовой (128) | 0                                  | 0                | 0         | 128                | 0               | 0  |
|  | Таганай (96)          | 0                                  | 0                | 5         | 91                 | 0               | 0  |
|  | Зауралье (83)         | 0                                  | 49               | 0         | 34                 | 0               | 0  |
|  | Московка (96)         | 39                                 | 17               | 0         | 0                  | 40              | 0  |
|  | Свердловск (288)      | 0                                  | 0                | 0         | 0                  | 288             | 0  |
|  | Тайга (107)           | 0                                  | 0                | 0         | 0                  | 107             | 0  |
| Недостаток в ремонтных мощностях на полигоне |                       | 0                                  | 0                | 0         | 0                  | 0               | -  |





**Распределение программы ремонтов магистральных электровозов  
постоянного тока в 2020 году**

|                             |  | Полигоны эксплуатации электровозов |                  |           |                    |                 | Резерв мощностей ремонтного локомотивного депо |
|-----------------------------|--|------------------------------------|------------------|-----------|--------------------|-----------------|--|
|                             |  | Октябрьский (129)                  | Московский (139) | Южный (5) | Куйбышевский (286) | Уральский (435) |  |
| Ремонтные локомотивные депо | Волхов (90)                                  | 90                                 | 0                | 0         | 0                  | 0               | 0  |
|                             | Рыбное (73)                                  | 0                                  | 73               | 0         | 0                  | 0               | 0  |
|                             | Дёма (117)                                   | 0                                  | 52               | 0         | 0                  | 0               | 65   |
|                             | Кинель Грузовой (128)                        | 0                                  | 0                | 0         | 128                | 0               | 0  |
|                             | Таганай (96)                                 | 0                                  | 11               | 9         | 76                 | 0               | 0  |
|                             | Зауралье (83)                                | 45                                 | 38               | 0         | 0                  | 0               | 0  |
|                             | Московка (96)                                | 15                                 | 0                | 0         | 0                  | 81              | 0  |
|                             | Свердловск (288)                             | 0                                  | 0                | 0         | 0                  | 288             | 0  |
|                             | Тайга (107)                                  | 0                                  | 0                | 0         | 0                  | 107             | 0  |
|                             | Недостаток в ремонтных мощностях на полигоне |                                    | 0                | 0         | 0                  | 0               | 0  |

Результаты оптимизации показывают, что как в 2015, так и 2020 годах на сети железных дорог ОАО «РЖД» для ремонта в объеме СР и ТР-3 магистральных электровозов постоянного тока имеется резерв мощностей, относящийся к ремонтному локомотивному депо Дёма Куйбышевского полигона. Такой вывод мотивирован тем, что себестоимость выполнения ремонтов в этом депо самая высокая. Кроме того, в соответствии с принятым критерием оптимизации перераспределение части программы ремонтов электровозов Куйбы-

шевского полигона в ремонтные локомотивные депо других полигонов оказывается экономически целесообразнее, чем их ремонт в депо Дёма.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горский А. В., Скребков А. В., Цихалевский И. С., Чигамбаев Т. О. Методика и алгоритм оптимального распределения локомотивов по ремонтным предприятиям//Транспорт Урала. – 2008. – № 3.
2. Горский А. В., Скребков А. В., Цихалевский И. С., Чигамбаев Т. О. Оптимальное распределение локомотивов по ремонтным предприятиям сети железных дорог// Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2008. – № 3. ●

### OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION OF LOCOMOTIVES' REPAIR PROGRAMS

**Skrebkov, Alexey V.** – Ph. D. (Tech), associate professor at the department of electric traction of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

**Zinchenko, Sergey A.** – leading researcher of the section of prospective simulation of transportation of the JSC Institute of transport economics and development.

*Distribution of locomotives between different repair depots is a function of engineering, operative and technological factors. The authors study composition of such groups of factors, their impact on distribution of Locations of locomotives' of operations, maintenance and repairing.*

*Key words: locomotive, repairs, optimization, depot, shed, demand, repairing capacity, distribution.*

Координаты авторов (contact information): Скребков А. В. – skrebkov\_av@mail.ru, Зинченко С. А. – zin1977@yandex.ru