УДК 65.011.8: 629.4.083

Решение задачи выбора мест размещения пунктов удаленного технического обслуживания маневровых локомотивов методом бинарной оптимизации

В. А. Смирнов[1], А. М. Семенов[2], С. О. Безбородов[3]

[1]Омский государственный университет путей сообщения, Россия, 644046, Омск, пр. Маркса, 35

[2]Общество с ограниченной ответственностью «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий», Россия, 121205, Москва, вн. тер. г. Муниципальный округ Можайский, Большой б-р, 30, стр. 1

[3]Российский университет транспорта, Россия, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Для цитирования: *Смирнов В. А., Семенов А. М., Безбородов С. О.* Решение задачи выбора мест размещения пунктов удаленного технического обслуживания маневровых локомотивов методом бинарной оптимизации // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 1. С. 81–91. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-81-91

Аннотация

Цель: решение актуальной проблемы выбора оптимальных мест размещения пунктов удаленного технического обслуживания (ПТОЛ) маневровых локомотивов на железнодорожном транспорте с применением метода бинарной оптимизации. Обосновывается необходимость внедрения технологии мобильного сервиса в условиях обширной железнодорожной сети России, характеризующейся наличием большого числа станций, сервисных депо и парков тепловозов. Рассматриваются существующие подходы к размещению объектов локомотивного хозяйства, отмечается сложность ручного подбора решений при наличии значительной инфраструктуры и разнородности эксплуатационного парка. **Методы:** математическое моделирование задачи, основанное на методе бинарной оптимизации, позволяющее минимизировать общие затраты на техническое обслуживание и ремонт маневровых локомотивов путем оптимального распределения полевых ПТОЛ. Приведены алгоритм расчета и результаты численного эксперимента на примере сети Горьковской железной дороги, включающего построение графов пересылки тепловозов, определение оптимальных наборов станций для размещения ПТОЛ и оценку изменения затрат при варьировании количества полевых сервисов. **Результаты:** практическое значение результатов заключается в разработке методики, позволяющей повысить эффективность эксплуатации маневровых локомотивов за счет сокращения непроизводственных простоев и расходов на передвижение техники. Полученные выводы имеют важное прикладное значение для предприятий железнодорожного транспорта, занимающихся организацией и управлением ремонтом подвижного состава. **Практическая значимость:** в статье также рассмотрены особенности организации технического обслуживания маневровых локомотивов, включая необходимость учета специфики их эксплуатации на различных участках сети. Приводятся данные о распределении тепловозов по станциям и анализируются возможные сценарии размещения полевых ПТОЛ. Особое внимание уделяется оценке экономической эффективности различных вариантов размещения, что позволяет выбрать оптимальный подход с учетом конкретных условий эксплуатации.

Ключевые слова: система ремонта локомотивов, организация технического обслуживания, организация производства, задача размещения пунктов обслуживания, бинарная оптимизация

Актуальность исследования и постановка задачи

Парк маневровых локомотивов, включая подвижной состав промышленного железнодорожного транспорта, по экспертным оценкам составляет порядка 50 % от общего числа единиц тягового подвижного состава. При этом значительная часть этого парка распределена между многочисленными частными операторами, в числе которых добывающие компании, предприятия первичной переработки сырья, энергетического сектора, тяжелого и среднего машиностроения [1]. Разнородность парка по балансовой принадлежности и кругу решаемых задач создает сложности при выработке единых организационных и технических подходов к повышению эффективности использования маневровых локомотивов в масштабе отрасли. Одним из важнейших направлений повышения эффективности эксплуатации маневровых локомотивов наряду с созданием подвижного состава нового поколения является совершенствование системы технического обслуживания и ремонта с целью сокращения непроизводительных простоев в ожидании ремонта и потерь на передислокацию.

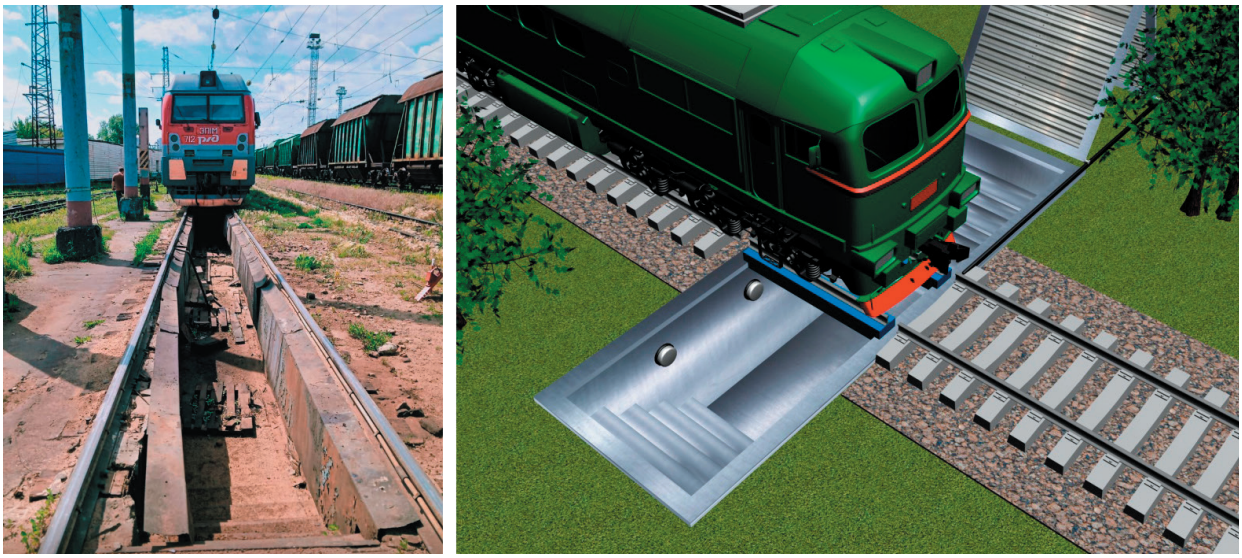
Анализ передового отечественного и зарубежного опыта организации технического обслуживания и ремонта подвижного состава на транспорте в промышленности и сельском хозяйстве показывает, что радикальным способом решения данной проблемы является применение технологии мобильного сервиса в полевых условиях. О практической востребованности данного подхода говорит факт присутствия подразделений мобильного сервиса в структуре большинства ремонтных компаний Европы и США.

Мобильные ремонтные комплексы, выполненные на автомобильном шасси, позволяют выполнять базовый набор операций по техническому обслуживанию и экипировке тепловоза, а также устранению незначительных повреждений на неподготовленных или частично подготовленных позициях [2].

В последнем случае принято говорить о так называемых «полевых ПТОЛ», расположенных, как правило, на путях отстоя подвижного состава и оборудованных минимальным набором технических средств (например, укороченной смотровой канавой) для возможности замены тормозных колодок и обслуживания экипажной части. Выполнение данных операций на неподготовленных позициях (например, на боковых путях станций) крайне затруднительно и неудобно. Типовые проекты стационарных ремонтных позиций на открытых площадках для тепловозов колеи 1520 мм можно найти в соответствующей технической литературе [3]. Один из примеров действующей позиции ТО-2 локомотивов под открытым небом представлен на рис. 1*а*.

Организация ТО-3, ТО-4 тепловозов в линейных условиях потребует размещения на позиции домкратов для вывешивания колесных пар при вибродиагностировании и мобильного колесотокарного станка для обточки колесных пар. Для установки мобильного колесотокарного станка смотровая канава должна иметь расширенное опорное основание с внешней стороны подошвы рельса, чтобы установить гидравлические домкраты вывешивания колесной пары, и приямки глубиной не менее 100 мм, шириной 200 мм и длиной не менее 600 мм по внешней стороне от головки рельсов для размещения станка.

Перспективный вариант компактной технологической позиции «полевого ПТОЛ» разработан специалистами ООО «НПЦ ПРОМТЕХ» (Москва). Его принципиальным отличием от существующих вариантов являются поперечное исполнение позиции относительно оси пути и наличие встроенного защитного кожуха



а *б*

Рис. 1. Варианты исполнения ремонтной позиции «полевого ПТОЛ»:
а – действующая позиция на станции Горький-Московский;
б — 3D-модель перспективного «полевого ПТОЛ» разработки «НПЦ ПРОМТЕХ» (Москва)

от осадков и несанкционированного проникновения на время, когда позиция не используется (рис. 1*б*).

Для хранения запаса тормозных колодок и несложной технологической оснастки канава может оборудоваться внутренними камерами (нишами). Освещение канавы обеспечивается внешней переносной системой, входящей в комплект оборудования мобильного сервиса, или традиционными стационарными светильниками с питанием от внешнего генератора.

Эффективное внедрение технологии мобильного сервиса в условиях разветвленной железнодорожной сети России с большим количеством станций, сервисных депо и ПТОЛ, а также значительным парком тепловозов, распределенным в границах региона, требует решения комплекса сложных организационно-технических задач, одна из которых — выбор и обоснование оптимальной дислокации мест размещения удаленных точек обслуживания — «полевых ПТОЛ».

Выбор метода решения оптимизационной задачи

Известные классические методы оптимизации размещения объектов локомотивного хозяйства строятся на принципах сравнения нескольких рациональных вариантов, составленных с учетом характера вагонопотока и местных условий, т. е. наличия участковых и сортировочной станций [4]. При этом последовательно производится декомпозиция полигона эксплуатации локомотивов с выделением участков обращения, далее исследуются взаимосвязи этих участков с формированием различных комбинаций размещения ПТОЛ. В качестве метода решения используется способ «деления отрезка пополам».

К числу более информативных методов можно отнести создание имитационных моделей транспортных систем на макро- и микроуровне с проведением серии вычислительных экспериментов для различных предварительно сформированных вариантов выбора мест

размещения. В этом случае появляется возможность представления ПТОЛ как элемента единой транспортно-технологической системы в динамике с учетом неравномерности поездопотоков, вероятностного характера работ и других факторов [5]. Недостатком данного подхода является его высокая трудоемкость при увеличении масштаба представляемого объекта.

Особенностями оптимального выбора мест размещения «полевых ПТОЛ» для обслуживания маневровых тепловозов являются:

• решение задачи в условиях фактически сложившейся инфраструктуры ПТОЛ для магистральных локомотивов, принятой в соответствии с классическими подходами, рассмотренными выше (не учитывающими особенности маневровой работы на полигоне);

• значительное количество станций с постоянной маневровой работой, требующих нахождения одного или нескольких тепловозов (в среднем порядка 100 и более) в границах одной железной дороги;

• преобладание станций с малой и средней по интенсивности маневровой работой, на которых эксплуатируется от одного до четырех тепловозов (порядка 85 %).

Выбор оптимального размещения мест удаленного сервиса в таких условиях путем «ручного» перебора рациональных вариантов практически невозможен.

В качестве решения авторами разработана методика выбора оптимального набора мест размещения «полевых ПТОЛ» с использованием метода бинарной оптимизации, в которой переменные ограничены набором значений {0, 1}.

В общем случае задача бинарной оптимизации может быть сформулирована в следующем виде:

$$\min_{\vec{x}} \left\{ F\left(\vec{x}\right) \mid \vec{x} \in \left\{0,1\right\}^n \right\}; \qquad (1)$$

$$h(\vec{x}) = 0,\ g(\vec{x}) > 0,$$

где $F(\vec{x})$ — целевая функция из n переменных со значениями {0, 1},

$h(\vec{x})$, $g(\vec{x})$ — ограничения на значения переменных, обеспечивающие нахождение решения в заданной области допустимых значений [6].

Построение математической модели

Математически железнодорожная сеть может быть задана в виде связного взвешенного графа $G = (V, E)$, в котором множество вершин $V = (1, ..., n)$ — это железнодорожные станции, а множество ребер $E = \{(i, j)\}$ — множество пар станций, связанных между собой железнодорожным перегоном. Каждому ребру $(i, j) \in E$ приписан вес, равный длине перегона между железнодорожными станциями i и j. Множество ребер E задано с помощью взвешенной матрицы смежности вершин S размера $n \times n$, где n — общее количество железнодорожных станций рассматриваемой железнодорожной сети. Элемент sij матрицы S равен длине железнодорожного перегона между станциями i и j, если станции связаны перегоном, и нулю в противном случае. При практической реализации модели все множества задаются в виде таблиц соответствующей размерности.

В качестве параметров модели по каждой станции i принимаются:

1) $d_i = 0, 1$ — признак наличия на станции сервисного локомотивного депо, производящего ТО-3, ТО-4 и текущий ремонт маневровым тепловозам (отсутствует, присутствует);

2) $p_i = 0, 1$ — признак наличия на станции пункта технического обслуживания ТО-2 тепловозов (отсутствует, присутствует);

3) $m = (m_{1,i}, ..., m_{k,i})$ — количество маневровых тепловозов, работающих на станции, по сериям локомотивов 1, ..., k, $k \in Z$.

Размерность k на практике ограничена диапазоном значений от 2 до 5, обеспечивая охват большинства эксплуатируемых на сегодняшний момент серий маневровых тепловозов с учетом исторического разделения парка различных серий по регионам. Например, для Горьковской железной дороги характерными сериями являются ЧМЭ3, ТЭМ18ДМ ($k = 2$).

Разделение на отдельные параметрические группы основных депо и ПТОЛ позволяет в дальнейшем рассматривать оптимизационные задачи для более глубоких видов технического обслуживания (ТО-3, ТО-4), текущего ТР-1 и внепланового ремонта, традиционно выполняемых в основных депо.

Пусть $V_{depo} \subset V$ — множество станций, на которых есть сеть депо, d — общее количество депо в данной железнодорожной сети. Требуется найти оптимальное расположение $V_{ptol} = \{j_1, ..., j_p\}$ «полевых ПТОЛ» ($1 \le p \le 10$). Под оптимальностью понимается минимум годовых суммарных затрат на плановое техническое обслуживание и ремонт маневровых локомотивов в границах железной дороги.

Годовые суммарные затраты на техническое обслуживание и ремонт маневровых локомотивов на станции зависят от кратчайшего расстояния по железнодорожной сети от данной станции до ближайшего депо или ПТОЛ, количества локомотивов на данной станции и других факторов. Для постановки задачи оптимизации расположения «полевых ПТОЛ» требуется оценка затрат r_{ij} обслуживания локомотивов со станции i на станции j.

Обозначим через d_{ij} кратчайшее расстояние по железнодорожной сети от станции i до станции j и через m_i количество маневровых локомотивов всех серий на станции i. Если допустить равенство норм периодичности и затрат на техническое обслуживание для различных серий маневровых тепловозов, суммарные годовые затраты составят:

$$r_{ij} = c \cdot m_{ij} d_{ij} + q, \qquad (2)$$

где c — коэффициент, учитывающий удельные затраты на ТО и его периодичность;

q — условно-постоянные затраты на инфраструктурное обеспечение и организацию технического обслуживания тепловозов (содержание зданий и сооружений локомотивного хозяйства и т. п.).

Если расположение «полевых ПТОЛ» V_{ptol} задано, то локомотивы со станции i будут обслуживаться в депо или ПТОЛ на станции j с минимальным расстоянием d_{ij}. Задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом. Требуется выбрать расположение V_{ptol} «полевых ПТОЛ» так, чтобы минимизировать суммарное расстояние на передислокацию локомотивов по всем станциям для проведения одного ТО.

Переменные задачи:

$x_j \in \{0, 1\}$ — бинарная переменная, где $x_j = 1$, если на станции j есть депо или расположен «полевой ПТОЛ», и $x_j = 0$ в противном случае;

$y_{ij} \in \{0, 1\}$ — бинарная переменная, где $y_{ij} = 1$, если локомотивы со станции i будут обслуживаться на станции j, и $y_{ij} = 0$ в противном случае.

Целевая функция:

$$\sum_{i,j=1}^{n} r_{ij} y_{ij} \to \min, r_{ij} = m_i d_{ij} \qquad (3)$$

при условиях:

1. Для каждой станции $i = 1, ..., n$ однозначно определено место обслуживания ее маневровых локомотивов: $\sum_{j=1}^{n} y_{ij} = 1$.

2. Локомотивы могут обслуживаться только в сервисном депо, ПТОЛ или на «полевом ПТОЛ»:

$$y_{ij} \le x_j, j \in V_{depo}, i, j = 1, ..., n.$$

3. Выбрано ровно p «полевых ПТОЛ»:

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = p + d. \quad (4)$$

4. Определены станции, на которых есть депо и стационарные ПТОЛ:

$$x_j = 1, j \in V_{depo}.$$

5. Отсутствуют ограничения по производительности ПТОЛ и депо.

Последнее допущение для маневровых локомотивов вполне оправдано ввиду относительно малого количества обслуживаний в день и возможности достаточно точной синхронизации плана постановки тепловозов на ТО-2, ТО-3, так как они планируются по календарной наработке [7].

Результаты вычислительного эксперимента

В качестве объекта моделирования рассматривался замкнутый полигон эксплуатации маневровых тепловозов в границах Горьковской железной дороги. Математически данная сеть представлена в виде маршрутной матрицы размером 87×87. Численные значения длин перегонов приняты по данным открытых интернет-источников [8, 9].

В качестве параметров модели были заданы:

1) общее количество станций $n = 87$;

2) число маневровых тепловозов и их распределение по станциям в границах железной дороги;

3) количество ПТОЛ, в том числе в основных депо V_{depo}, — 14;

4) длины перегонов между станциями, км;

5) места размещения стационарных ПТОЛ и ремонтных депо на станциях;

6) количество «полевых ПТОЛ» $V_{ptol} = 1, ..., 10$;

7) виды технического обслуживания — ТО-2, ТО-3.

Расчеты производились в системе MATLab для $V_{ptol} = 1, ..., 10$ с шагом 1. По каждому варианту в соответствии с заданной целевой функцией программой был определен оптимальный набор станций для размещения «полевых ПТОЛ» и рассчитана суммарная дальность передислокации локомотивов на единицу ТО.

Визуальная интерпретация развернутого графа пересылки тепловозов от станций маневровой работы к местам проведения ТО-2 представлена на рис. 2.

В табл. 1 представлены оптимальные наборы станций размещения «полевых ПТОЛ» в количестве от 1 до 10 при выполнении в полевых условиях цикла ТО-2 тепловозов.

По полученным данным можно выявить следующую закономерность: каждый последующий набор станций для размещения «полевых ПТОЛ» включает в себя все станции предыдущего набора:

$$V_{ptol}^{p} = \{j_1, ..., j_p\} \subset V_{ptol}^{p-1} = \{j_1, ..., j_{p-1}\}. \quad (5)$$

На практике это означает возможность поэтапного ввода в эксплуатацию отдельных «полевых ПТОЛ» с постепенным наращиванием их количества. В последней строке таблицы приводятся относительные значения дальности передислокации тепловозов на ТО-2 для каждого из вариантов по сравнению с базовым (без «полевых ПТОЛ»).

Можно отметить явно нелинейный характер зависимости снижения затрат на передислокацию в первой трети диапазона вариаций количества «полевых ПТОЛ» ($m = 1, ..., 3$) со снижением показателя совокупной протяженности маршрутов на одно ТО на 12 %, 11 %, 6 % соответственно на каждый «полевой ПТОЛ». Далее данный показатель снижается и остается практически неизменным на уровне 4 %.

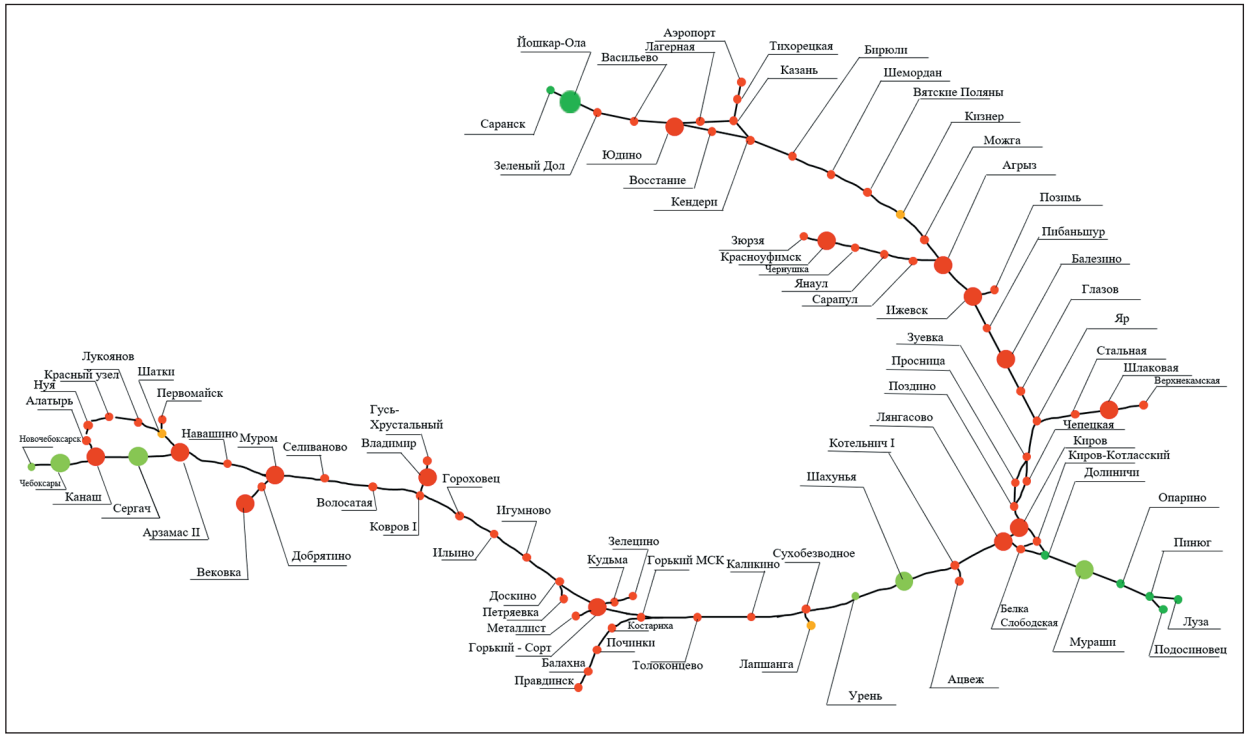


Рис. 2. Граф пересылки тепловозов при проведении ТО-2 с учетом размещения пяти «полевых ПТОЛ» (пример)

ТАБЛИЦА 1. Оптимальные наборы станций размещения «полевых ПТОЛ» при организации ТО-2, полученные в результате расчетов

Станции размещения «полевых ПТОЛ»	Общее количество «полевых ПТОЛ» для ТО-2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мураши	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Шахунья		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Чебоксары			+	+	+	+	+	+	+	+
Сергач				+	+	+	+	+	+	+
Йошкар-Ола					+	+	+	+	+	+
Пинюг						+	+	+	+	+
Нуя							+	+	+	+
Вятские Поляны								+	+	+
Янаул									+	+
Яр										+
Относительная дальность пересылки тепловозов на ТО-2, %	88	77	70	65	61	56	52	47	44	40

ТАБЛИЦА 2. Оптимальные наборы станций размещения «полевых ПТОЛ» при организации ТО-3, полученные в результате расчетов

Станции размещения «полевых ПТОЛ»	Общее количество «полевых ПТОЛ» для ТО-3									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Агрыз	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Яр		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Владимир			+	+	+	+	+	+	+	+
Мураши				+	+	+	+	+	+	+
Шахунья					+	+	+	+	+	+
Пинюг						+	+	+	+	+
Чебоксары							+	+	+	+
Сергач								+	+	+
Йошкар-Ола									+	+
Нуя										+
Относительная дальность пересылки тепловозов на ТО-3, %	58	49	43	38	33	31	29	27	25	23

Аналогичные расчеты при планировании организации ТО-3 тепловозов в полевых условиях дают следующие результаты (табл. 2). При моделировании принято восемь станций с возможностью проведения ТО-3 в стационарных условиях: Арзамас II, Горький-Сортировочный, Канаш, Киров, Красноуфимск, Лянгасово, Муром, Юдино.

Анализируя оптимальные наборы станций для размещения полевых ПТОЛ (табл. 1, 2), можно отметить наличие несовпадений, что обусловлено различным количественным набором базовых мест проведения ТО-2 и ТО-3 (действующих депо и ПТОЛ): в первом расчетном случае V_{depo} = 14, во втором V_{depo} = 8. График относительного совпадения оптимальных наборов станций размещения «полевых ПТОЛ» для организации ТО-2 и ТО-3 маневровых тепловозов представлен на рис. 3.

Можно заметить, что в первой половине интервала моделирования V_{ptol} = 1, ..., 5 оптимальные наборы станций для проведения ТО-2 и ТО-3 тепловозов существенно отличаются друг от друга. Положение меняется при увеличении количества «полевых ПТОЛ» до шести и более. В этом случае расчетное число совпадений в наборах составляет 50–70 %. Максимум совпадений (80 %) достигается при числе «полевых ПТОЛ» равном 10. Оставшиеся несовпадающие наборы станций (Агрыз, Владимир и Янаул, Вятские Поляны), за исключением станции Владимир, находятся в радиусе 80 км друг от друга.

Примечательно, что на 75 % станций, выбранных в результате решения оптимизационной задачи для размещения «полевых ПТОЛ», ранее в СССР располагались оборотные локомотивные депо или ПТОЛ [10]. То есть на этих станциях гипотетически уже присутствует

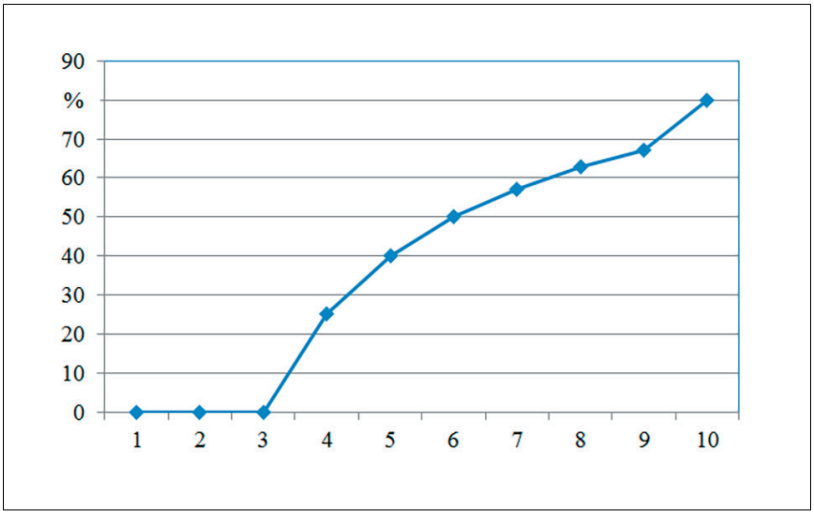


Рис. 3. Процент совпадений оптимальных наборов станций при организации ТО-2 и ТО-3

необходимая технологическая инфраструктура для проведения технического обслуживания тепловозов.

Окончательный выбор предпочтительного варианта по количеству «полевых ПТОЛ» и их производственно-технологическим возможностям (ТО-2, ТО-3) в диапазоне интервала моделирования $V_{ptol} = 1, ..., 10$ должен производиться по критериям экономической эффективности с учетом стоимости оснащения «полевых ПТОЛ», вложений в приобретение и содержание мобильных «депо на колесах», стоимости топлива и заработной платы бригады, величины упущенной выгоды компании от нахождения тепловоза в нерабочем парке [10, 11].

Список источников

1. Аношкин Д. С. Взаимная тяга // Газета «Гудок». URL: https://gudok.ru/newspaper/?ID=1654849 (дата обращения: 12.11.2025).

2. Смирнов В. А., Безбородов С. О. Анализ современных технических средств и технологий мобильного сервиса подвижного состава в России и за рубежом // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: сборник научных трудов по материалам VIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омск: ОмГУПС, 2024. С. 363–368.

3. Типовой проект смотровых канав для локомотивов на приемоотправочных пунктах. Вариант из монолитного бутобетона: рабочие чертежи. М., 1958. 10 л.

4. Локомотивное хозяйство / С. Я. Айзинбуд [и др.]; под ред. С. Я. Айзинбуда. М.: Транспорт, 1986. 262 с.

5. Смирнов В. А. Моделирование перевозочного процесса и систем обслуживания подвижного состава на железнодорожном транспорте // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2012. № 2. С. 13–18.

6. Многокритериальная оптимизация: Математические аспекты / Б. А. Березовский [и др.]. М.: Наука, 1989. 128 с.

7. О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД»: распоряжение от 30.12.2016 № 2796р (с изм. от 21.09.2018 № 2070р). М.: ОАО «РЖД», 2018.

8. Карты железных дорог России // Трудовой десант. Строительство железных дорог. URL:

https://www.tdesant.ru/uploads/images/maps/Горьковская%20железная%20дорога.jpg (дата обращения: 12.11.2025)

9. Суперкарта железных дорог 2.0 // Суперкарта железных дорог. URL: https://supermap.zatramvaj.su/ (дата обращения: 12.11.2025)

10. Хасин Л.Ф. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. М.: МПС РФ, 1998.

11. Матвеев А.Н. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством. М.: Желдориздат, 2002.

Дата поступления: 20.01.2026
Решение о публикации: 13.02.2026

Контактная информация:
СМИРНОВ Виктор Александрович — д-р техн. наук, доцент; SmirnovVA@bk.ru
СЕМЕНОВ Александр Михайлович — канд. физ.-мат. наук, доцент; almsemenov@mail.ru
БЕЗБОРОДОВ Станислав Олегович — аспирант; stan34915@yandex.ru

Binary optimization method to choose locations for remote maintenance of shunting locomotives

V. A. Smirnov[1], A. M. Semenov[2], S. O. Bezborodov[3]

[1] Omsk State Transport University, 35 Marksa pr., Omsk, 644046, Russia
[2] International Center for Quantum Optics and Quantum Technologies LLC, Build. 1, 30 Bolshoy blvd., Vn. ter. g. Mozhaysky Municipal District, Moscow, 121205, Russia
[3] Russian University of Transport, 9 Obraztsova Street, Moscow, 127994, Russia

For citation: *Smirnov V.A., Semenov A.M., Bezborodov S.O.* Binary optimization method to choose locations for remote maintenance of shunting locomotives // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 81–91. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-81-91. (In Russian)

Abstract

Objective: this research addresses the pressing task of determining optimal sites for remote maintenance of shunting locomotives within railway transport framework by applying a binary optimization method. The rationale for adopting mobile maintenance technologies is justified in the context of Russia's extensive railway network, which comprises a large number of stations and service depots, as well as diverse fleets of diesel locomotives. This research reviews existing approaches to locating locomotive facilities and highlights the complexity of manually selecting solutions in the presence of substantial infrastructure and the diversity of the operational fleet. **Methods:** a mathematical model employing binary optimization method is developed to minimize the total costs of maintenance and repair through efficient distribution of locomotive field maintenance centres. The findings of a numerical experiment conducted on the Gorky Railway network are presented in this study along with a calculation algorithm. The study also includes the construction of transfer graphs for diesel locomotives, identifying the optimal stations for locomotive field maintenance placement and an assessment of cost dynamics associated with varied field services. **Results:** a methodology has been developed to improve the efficiency of shunting locomotive operations by reducing non-productive downtime and the costs associated with transportation of machines. The conclusions obtained have significant practical implications for railway transport companies engaged in the planning and management of rolling stock repair and maintenance. **Practical significance:** this paper also discusses the organization of maintenance for shunting locomotives, highlighting the need to account for their operational specificities across sections of the network. Data on the distribution of diesel locomotives

across stations are presented and potential scenarios for field maintenance placement of locomotives are analyzed. Particular attention is devoted to the assessment of the economic efficiency of alternative placement options, which enables selection of the optimal approach given specific operating conditions.

Keywords: locomotive repair system, organization of maintenance, production management, service point placement, binary optimization

References

1. Anoshkin D.S. Vzaimnaya tyaga // Gazeta “Gudok”. URL: https://gudok.ru/newspaper/?ID=1654849 (data obrashcheniya: 12.11.2025). (In Russian)

2. Smirnov V.A., Bezborodov S.O. Analiz sovremennykh tekhnicheskikh sredstv i tekhnologij mobil′nogo servisa podvizhnogo sostava v Rossii i za rubezhom // Ekspluatatsionnaya nadezhnost′ lokomotivnogo parka i povyshenie effektivnosti tyagi poezdov: sbornik nauchnykh trudov po materialam VIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Omsk: OmGUPS, 2024. S. 363–368. (In Russian)

3. Tipovoj proekt smotrovykh kanav dlya lokomotivov na priemootpravochnykh punktakh. Variant iz monolitnogo butobetona: rabochie chertezhi. M., 1958. 10 l. (In Russian)

4. Lokomotivnoe khozyajstvo / S.Ya. Ajzinbud [i dr.]; pod red. S. Ya. Ajzinbuda. M.: Transport, 1986. 262 s. (In Russian)

5. Smirnov V.A. Modelirovanie perevozochnogo protsessa i sistem obsluzhivaniya podvizhnogo sostava na zheleznodorozhnom transporte // Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal′nego Vostoka, 2012. №2. S. 13–18. (In Russian)

6. Mnogokriterial′naya optimizatsiya: Matematicheskie aspekty / B. A. Berezovskij [i dr.]. M.: Nauka, 1989. 128 s. (In Russian)

7. O sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov OAO "RZhD": rasporyazhenie ot 30.12.2016 № 2796r (s izm. ot 21.09.2018 №2070r). M.: OAO "RZhD", 2018. (In Russian)

8. Karty zheleznykh dorog Rossii // Trudovoj desant. Stroitel′stvo zheleznykh dorog. URL: https://www.tdesant.ru/uploads/images/maps/Gor′kovskaya%20zheleznaya%20doroga.jpg (data obrashcheniya: 12.11.2025). (In Russian)

9. Superkarta zheleznykh dorog 2.0 // Superkarta zheleznykh dorog. URL: https://supermap.zatramvaj.su/ (data obrashcheniya: 12.11.2025) (In Russian)

10. Khasin L.F. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke investitsionnykh proektov na zheleznodorozhnom transporte. M.: MPS RF, 1998. (In Russian)

11. Matveev A.N. Ekonomika, organizatsiya i upravlenie lokomotivnym khozyajstvom. M.: Zheldorizdat, 2002. (In Russian)

Received: 20.01.2026
Accepted: 13.02.2026

Author’s information:
Victor A. SMIRNOV— D. Sci. in Engineering, Associate Professor;
SmirnovVA@bk.ru
Aleksandr M. SEMENOV— PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor;
almsemenov@mail.ru
Stanislav O. BEZBORODOV— Postgraduate Student;
stan34915@yandex.ru