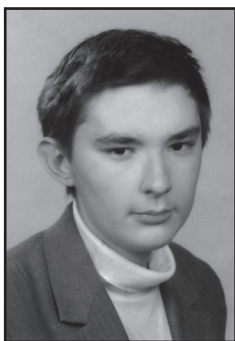


Критерии логической сети обслуживания



Дмитрий КОРНЕВ

Dmitry A. KORNEV

Предложен алгоритм работы логической сети для оперативного управления техническим состоянием вагонов на полигоне железной дороги. В основу алгоритма положен метод многокритериальной оптимизации. Обоснованный автором порядок действий позволяет повысить организационный ресурс ремонтных предприятий и эффективность использования подвижного состава.

Ключевые слова: логическая сеть, критерии, оперативное управление, железная дорога, подвижной состав, задачи многокритериальной оптимизации.

Корнев Дмитрий Александрович — аспирант кафедры «Информационные технологии» Русско-немецкого института Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

В результате проводимых на российских железных дорогах структурных реформ появилось огромное количество новых субъектов перевозочного процесса — в основном собственников грузовых вагонов. В связи с этим обнажились и обострились проблемы, так или иначе касающиеся и технологии использования грузовых вагонов по назначению, и организации их технического содержания.

Что касается второго типа проблем, то наибольшее количество нареканий со стороны собственников частного парка накопилось относительно организации работ на пунктах отцепочного текущего ремонта (ПОР) вагонов. Речь идет прежде всего о значительных затратах времени на этот вид технического обслуживания, многократно превосходящих норму [1], а также о качестве самого ремонта.

В 1979 году был принят принцип бесперегрузочного передвижения грузовых вагонов по сети железных дорог России, вследствие чего стала неэффективной приписка грузовых вагонов к определенным ремонтным предприятиям. В результате по своему характеру технология использования грузовых вагонов по назначению

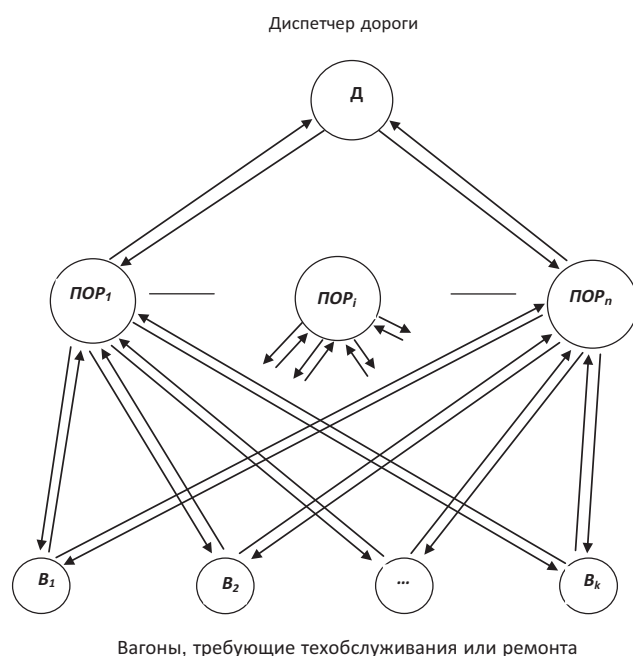


Рис. 1. Принципиальная блок-схема работы автоматизированного диспетчера полигона железной дороги.

и их ремонт стали обезличенными. Такая обезличенность позволяет повысить эффективность эксплуатации вагонов в перевозочном процессе, но достигается это за счет усложнения и удорожания технического содержания подвижного состава на должном уровне.

По существу, вагонный парк работает в условиях неуправляемого (с точки зрения научного обоснования) соотношения между показателями себестоимости технического содержания и уровня безопасности эксплуатации вагонов. А именно это соотношение, как представляется, намного точнее и полнее характеризует качество действующей системы, и как раз здесь следует искать средства усиления в организации ремонта вагонов и способы повышения управляемости процессом.

В данный момент существует ряд руководящих отраслевых документов по организации текущего отцепочного ремонта вагонов, например [2]. В них по умолчанию предполагается, что на станции, где обнаружено опасное повреждение вагона, имеется ПОР, который располагает соответствующими ресурсами рабочего времени, требуемыми запчастями и всем прочим для своевременного и качественного ремонта.

В противном случае на неисправный вагон выписывается так называемый сопроводительный листок формы ВУ-2 Б на пере-

сылку его на другой ПОР, где должны находиться все те же ресурсы. Однако часто по прибытии на такую станцию обнаруживается, что и на ее ПОР нет требуемых средств. Из-за этого время пребывания вагона в неработоспособном состоянии может значительно превышать норматив [1], а затраты на восстановление техники возрастают многократно, обостряя недостатки в организации ремонтных операций.

Ниже приведено решение задачи, связанной с оптимизацией параметров оперативного управления отцепочным ремонтом грузовых вагонов на полигоне их эксплуатации.

Пусть на полигоне имеются n технических станций с ПОР, каждый из которых оборудован t ремонтными каналами. Есть также двухсторонняя информационная связь между автоматизированным диспетчером ($Д$) полигона эксплуатации и диспетчерами технических станций. К диспетчеру полигона в режиме реального времени поступает информация (рис. 1):

- о возникшей неисправности единицы подвижного состава и предполагаемом объеме работ по ее обслуживанию и ремонту tr в единицах времени (е. в.);
- о прогнозируемой занятости каждого ремонтного канала $1 \leq j \leq t$ каждого из n ПОР в единицу времени.

Задачей $Д$ является распределение оптимальным образом очередного за-



каза, то есть определение номера ПОР i и номера его ремонтного канала j , на котором возможно отремонтировать неисправный вагон с наилучшими результатами.

Поскольку на железных дорогах в настоящее время возник дефицит подвижного состава, а финансовый кризис требует эффективного использования квалифицированных рабочих, в качестве основных критериев эффективности работы ПОР приняты:

– время простоя единицы подвижного состава на пункте отцепочного ремонта должно быть минимальным;

– занятость ремонтных каналов ПОР должна быть максимальной.

Эти два критерия в общем случае противоречивы. Чтобы работа ремонтных каналов проходила по непрерывному графику, число единиц подвижного состава, ожидающих ремонта на данном ПОР, не может быть равно нулю, то есть на каждом ПОР предпочтительна условная «очередь» из вагонов. С другой стороны, наличие «очереди» неизбежно ведет к увеличению времени простоя вагонов и снижению эффективности подвижного состава на сети железных дорог.

Иными словами, данная диспозиция относится к задачам многокритериальной оптимизации. В качестве первого критерия берется время простоя (ожидания и ремонта) вагона t_o , а в качестве второго критерия, характеризующего эффективность ремонтных каналов, целесообразно принять время работы ремонтной бригады в технологическом цикле ремонта вагона t_{op} за условный временной интервал ΔT , соответствующий, к примеру, рабочей смене.

В вариантах многокритериальной оптимизации наиболее строгое решение задачи в части определения параметров системы получается при использовании целевой функции, представляющей собой свертку из выбранных критериев оценки эффективности управления [3]. В ее основу положено минимаксное (чебышевское) приближение множества решений к утопической точке:

$$C = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{p=1}^k \left\{ \frac{U_p - U_p^*}{U_p^{**} - U_p^*} \right\}^2} \rightarrow \min,$$

где U_p^* – минимальное значение p -го частного критерия, найденного при решении задачи оптимизации по этому критерию;

U_p^{**} – максимальное значение p -го частного критерия, полученное при параметрах системы управления, расположенных в множестве Парето;

U_p – текущее значение p -го частного критерия, полученное при параметрах системы управления, расположенных в множестве Парето.

При решении задачи оперативного управления техническим состоянием подвижного состава на железнодорожном полигоне j -м частным критерием является количество ремонтных каналов на ПОР, а целевая функция для определения показателя работы i -го ПОР может быть представлена зависимостью

$$C = \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=1}^m t o_j}{\sum_{j=1}^m \Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\sum_{j=1}^m \Delta T}{\sum_{j=1}^m t o p_j} \right)^2} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $0 \leq j \leq m$ – количество ремонтных каналов на одном ПОР.

Тогда для всего исследуемого полигона целевой функцией определения эффективности его работы будет служить

$$C^* = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t o_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta T}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t o p_j} \right)^2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $0 \leq i \leq n$ – количество ПОР на исследуемом полигоне.

Для расчета значений целевой функции C^* был разработан алгоритм управления процессом распределения вагонов по ПОР. При этом принято:

- рассматриваемый период времени – одна рабочая смена ΔT ;
- моменты формирования требования на ремонт вагона случайны и берутся в расчет генератором случайных чисел по равномерному закону распределения;
- объем ремонтных работ одного вагона $t p$ случаен и задается генератором случайных чисел по равномерному закону распределения;
- условный диспетчер распределяет вагоны по ПОР так, чтобы время их про-

стоя в очереди на ремонт было минимальным.

Алгоритм решения данной задачи состоит из двух разветвленных блоков (рис. 2).

В первом блоке после формирования генераторами случайных чисел требования на обслуживание вагона и объем ремонта осуществляется автоматический просмотр текущего состояния всех j каналов всех i ПОР полигона на предмет выявления наименее загруженного канала. Это обеспечивается процедурой последовательного сравнения состояния текущей занятости каналов между собой. После обнаружения такого канала ему присваивается индекс $[im; jm]$ и на его адрес передается вагон, требующий ремонта. Он ставится в очередь и начинается отсчет времени простоя to_j , включающего в себя время ожидания и время фактического ремонта tp . По истечении времени ремонта вагон уходит в эксплуатацию, освобождая ремонтный канал.

По этому алгоритму на языке C++ была создана программа автоматизированного распределения вагонов на ПОР полигона при условии минимизации времени их обслуживания to_j .

Программа представляет собой многократное прохождение по внешнему циклу процедуры вычисления времени простоя вагона на ПОР to_j и занятости ремонтных каналов tk_{ij} , каждая итерация которых соответствует текущему времени t .

Внешние итерации начинают выполняться после формирования стандартной процедурой «random» появления вагона, требующего ремонта. Затем запускается внутренний цикл итераций, который путем сопоставления определяет индексы канала с минимальным временем ожидания обслуживания. По окончании поиска к периоду ожидания прибавляется время, необходимое на ремонт вагона.

Последними процедурами итерации становится расчет времени простоя каждого вагона to_j и времени работы каждого из каналов на текущий момент времени t . При прохождении итерации, если очередь ожидания к данному каналу не пуста, время его работы продлевается на одну е.в., а время нахождения в очереди неисправного вагона уменьшается на одну е.в. После этого таймер текущего времени добав-

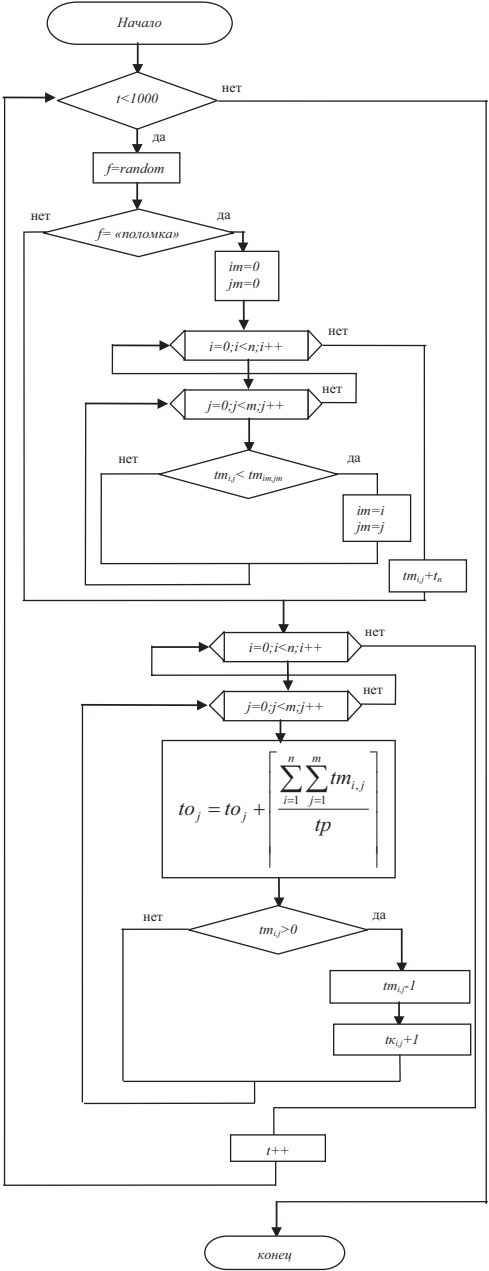


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования работы автоматизированного диспетчера полигона железной дороги: tp – время, необходимое для ремонта одного вагона; to_j – время простоя вагонов на ремонт за рабочую смену на j -м канале; tk_{ij} – время занятости ремонтного канала от начала смены до текущего момента; tm_{ij} – время простоя вагонов на j -м канале i -го ПОР за рабочую смену.

ляет одну е.в., и программа переходит на следующую итерацию.

На рис. 3 проиллюстрирован процесс формирования «очереди» автоматизированным диспетчером на первом канале первого ПОР при $1 \leq m \leq 4$, откуда видно, как



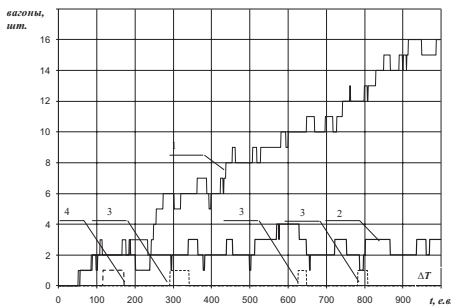


Рис. 3. Формирование очереди из вагонов на канале $[i=1; j=1]$ от начала рабочей смены при различном числе ремонтных каналов на ПОР:

1 – один ремонтный канал; 2 – два ремонтных канала; 3 – три ремонтных канала; 4 – четыре ремонтных канала.

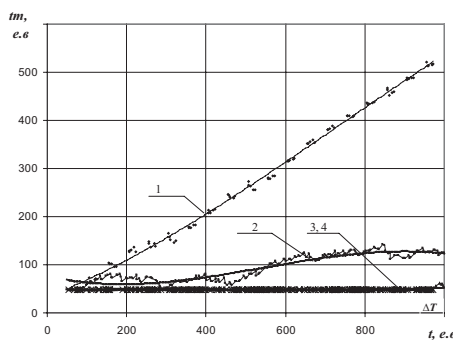


Рис. 5. Время простоя вагона в очереди на канал $[i=1; j=1]$ в зависимости от времени подачи заявки на ремонт при различном количестве ремонтных каналов на ПОР:

1 – один канал; 2 – два канала; 3 – три; 4 – четыре канала.

вагон приходит на ремонтный канал, проходит ремонт и сдается в эксплуатацию. Для иллюстрации работы программы в данном случае было принято, что в начальный момент времени (при $t=0$) все ремонтные каналы ПОР оказались свободны.

По разработанному алгоритму выполнено моделирование работы автоматизированного диспетчера полигона железной дороги, имеющего пять ПОР ($n=5$) с переменным числом ремонтных каналов ($1 \leq m \leq 4$), и определена эффективность оперативного управления этим полигоном.

Результаты расчета показали, что при частоте отказов $f=35$ вагонов/смена и наличии на каждом ПОР одного ремонтного канала объем работы будет такой, что каналы всех ПОР окажутся непрерывно за-

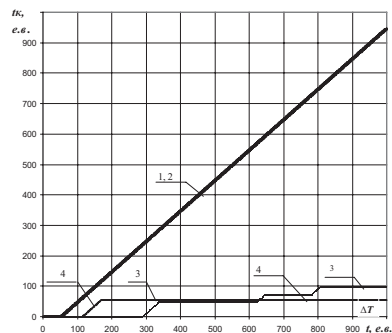


Рис. 4. Время работы бригады на канале $[i=1; j=1]$ в зависимости от текущего времени при различном количестве ремонтных каналов на ПОР:

1 – один ремонтный канал; 2 – два ремонтных канала; 3 – три ремонтных канала; 4 – четыре ремонтных канала.

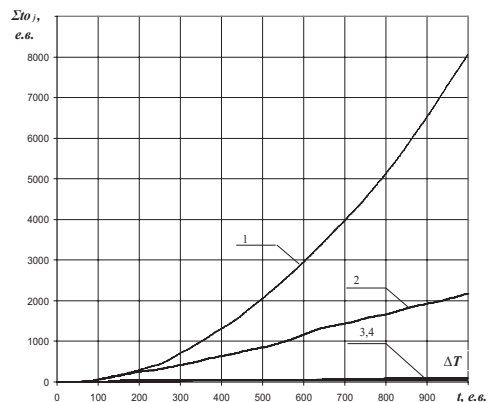


Рис. 6. Время простоя всех вагонов на ПОР $[i=1; j=1]$ в зависимости от текущего времени при различном количестве ремонтных каналов на нем (нумерация аналогична рис. 3–5).

нятыми с момента прихода первого вагона (рис. 4); в частности, на первый ПОР $[i=1]$ первый вагон приходит для обслуживания в $t=57$ е. в., и бригада трудится оставшуюся часть смены непрерывно.

Увеличение числа каналов на ПОР меняет характер их работы. При двух каналах на каждом ПОР на канал с координатами $[i=1; j=1]$ первый вагон приходит в $t=63$ е. в., а бригада этого канала также трудится остальное время без перерыва.

Если число каналов на ПОР увеличить до трех, то канал с координатами $[i=1; j=1]$ начинает работать при $t=295$ е. в., в работе канала появляются простои, занятость бригады снижается и составляет 100 е. в.; при $m=4$ бригада имеет загрузку за смену всего 55 е. в.

Очевидно, что при другом значении f характер работы каналов ПОР изменится.

Выполненные расчеты позволяют оценить и эффективность обслуживания вагонов на полигоне железной дороги в зависимости от укомплектованности ПОР ремонтными каналами (рис. 5). Получено, что при интенсивности отказов $f=35$ вагонов/смена и $m=1$ на ПОР происходит быстрое накопление «очереди» из неисправных вагонов. Если первый вагон был отремонтирован сразу, то время простоя последних вагонов, пришедших на этот канал, составляет более 500 е. в. При $m=2$ время простоя вагона резко снижается и не превышает 130 е. в. В том случае, когда ПОР оборудован тремя или четырьмя каналами, вагоны начинают обслуживаться сразу.

Из зависимостей рис. 6 можно определить производительность работы ПОР с различным числом ремонтных каналов. Если на ПОР одновременно действуют четыре ремонтных канала, то суммарное время простоя всех вагонов на нем за смену составляет 50 е. в.; если число ремонтных каналов сокращается до трех, то время простоя увеличивается до 2100 е. в. Производительность ПОР с $m=1$ будет в 146 раз ниже, чем с $m=4$.

Расчет показал, что при $f=35$ вагонов/смена на ПОР с одним каналом «очередь» из вагонов, требующих обслуживания, нарастает со средней скоростью 0,017 вагонов/е. в.; при $m=2$ такое нарастание происходит в 6 раз медленнее. При трех и четырех каналах «очередь» отсутствует, и в данном случае простой уже наблюдается у ремонтных бригад.

Полученные результаты позволяют определить общую эффективность работы ПОР полигона железных дорог.

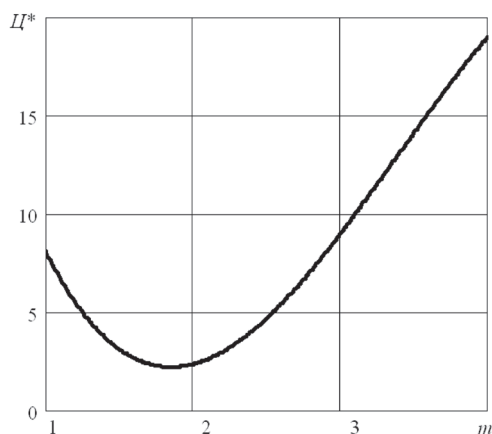


Рис. 7. Значение целевой функции эффективности работы подвижного состава на полигоне железной дороги в зависимости от количества ремонтных каналов на ПОР.

При принятых критериях и $f=35$ вагонов/смена функция $Ц^*$ имеет экстремум в области $m=2$ (рис. 7), то есть с точки зрения эффективности работы подвижного состава целесообразно обеспечить на каждом ПОР по два ремонтных канала. Очевидно, что изменение значения f приведет к другим оптимальным решениям задачи оперативного управления обслуживанием подвижного состава.

Представленный алгоритм дает возможность определить рациональное распределение ремонтных служб полигона при любом значении f , а разработанную программу можно использовать для оперативного управления ПОР любого участка железной дороги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагонное хозяйство: Учебник для вузов ж-д. транспорта/П. А. Устич, И. И. Хаба, В. А. Ивашов и др.; Под редакцией П. А. Устича. — М.: Маршрут, 2003.
2. Типовой технологический процесс работы ПТО вагонов. — М.: Транспорт, 1988.
3. Венцель Е. С. Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972.

CRITERIA OF LOGICAL SERVICE NET

Kornev, Dmitry A. – Ph. D. student at the department of information technology of Russian-German institute of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The author proposes an algorithm of a logical network called to manage technical state of the railway cars within a range of a railway. The algorithm is based on a multi-objective optimization method. The proposed procedure makes it possible to enlarge organization resources of repair works and to increase the efficiency of rolling stock.

Key words: logical net, criteria, control of operations, railway, rolling stock, multi-objective optimization.

Координаты автора (contact information): Корнев Д. А. – email da-kornev@yandex.ru

