

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Зубков, В. Н.* Полигонные технологии как новый подход к совершенствованию системы управления грузопотоками в направлении портов и крупных предприятий / В. Н. Зубков, Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – № 3. – 2015. – С. 64–72.

2 *Чеботарева, Е. А.* Совершенствование системы диспетчерского управления грузопотоками в адрес крупных потребителей Северо-Кавказской железной дороги / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3. – С. 82–89.

3 Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». – 89 с.

V. N. ZUBKOV, E. A. CHEBOTAREVA

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR LOGISTIC MANAGEMENT OF CARGO TRAFFIC HEADING THE PORTS OF THE AZOV-BLACK SEA BASIN

The article analyzes the dynamics of the increase in export traffic in the direction of the ports of southern Russia. The main aspects of the development of information technologies for managing cargo traffic heading the ports of the Azov-Black Sea basin are considered.

Получено 10.12.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.211

Т. И. КАШИРЦЕВА

Российский университет транспорта (МИИТ)

ka-t-i@ya.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПАССАЖИРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Рассматриваются методы оптимизации технического оснащения и технологии работы пассажирских технических станций и технических парков пассажирских станций.

Тема оптимизации технического оснащения и технологии работы пассажирских технических станций (ПТС) не теряет своей актуальности, так как

пассажиропоток железнодорожного транспорта в дальнем сообщении продолжает увеличиваться. По данным ОАО «РЖД» в первом полугодии 2018 года он составил 547,6 млн человек. По сравнению с январем – июнем 2017 года пассажиропоток вырос на 3,3%. Пассажирооборот на сети ОАО «РЖД» в первом полугодии 2018 года вырос на 5,3 % по сравнению с первым полугодием 2017 года и составил 55,82 млрд пасс.-км. Также продолжает расти и уровень требований пассажиров к качеству предоставляемых услуг при организации перевозки, а следовательно, и к качеству подготовки составов в рейс.

Для оптимизации параметров технического оснащения ПТС можно использовать различные методы, позволяющие получить максимально достоверные результаты. Как было обосновано в [1], данная задача относится к многокритериальным. Критериями могут служить затраты, связанные с сооружением (реконструкцией) и/или функционированием ПТС, надежность, время подготовки составов в рейс, пропускная (перерабатывающая) способность устройств и т. д.

Для решения многокритериальных задач следует найти такую целевую функцию, которая учитывала бы противоречивый характер целей, отражала «вклад» каждого критерия в конечный результат и позволяла одновременно сравнивать критерии, выраженные в разных единицах измерения. В данной статье задача решается следующим образом. Имеются различные схемы ПТС и различные варианты технического оснащения. Любое сочетание данной схемы ПТС с набором технического оснащения представляет собой конструкцию ПТС. Пусть имеются различные входящие потоки составов пассажирских поездов с характеристиками, которым соответствуют определенные объемы работы. Каждый такой поток может быть обслужен с использованием некоторой из имеющихся конструкций. Разрабатывается набор критериев, отражающих цели оптимизации и позволяющих оценить определенные особенности конструкций. Также определяются оптимизируемые параметры. В результате обслуживания каждого потока на данной конструкции получается упорядоченный набор выходных характеристик (значений критериев оптимизации), соответствующий обслуживанию данного потока на определенной конструкции. Характеристики такого вектора можно описать неотрицательными числами, имеющими ранговый приоритет. Такие числа могут быть расположены по степени их важности, либо им можно приписать веса, которые учитывают эти степени важности. Для каждой компоненты этого вектора значений критериев должно быть указано направление ее улучшения (т. е. чем выше (ниже) значение данного критерия, тем больше данная конструкция соответствует данному потоку по данному критерию). Задача состоит в том, чтобы выбрать целевую функцию для векторов значений критериев так, чтобы определить оптимальную конструкцию для фиксированного потока или объема работы.

Ряд задач оптимизационного характера не содержит неопределенностей и может быть сведен к четко поставленным математическим задачам опти-

мизации, методы решения которых хорошо известны. К ним относятся задачи экстремального характера для функций многих переменных, вариационные и др. Описанным выше способом могут быть решены также задачи, содержащие какие-либо случайные величины или случайные функции, если использовать средние значения входящих в них величин, то есть поиск наилучшей стратегии сводится к четко поставленной математической задаче оптимизации без принятия или использования дополнительных гипотез иного характера. Однако такие задачи немногочисленны и содержат различного вида неопределенности. Проблема состоит в том, чтобы с помощью неформального анализа сформулировать дополнительные гипотезы, которые позволят свести задачу с наличием неопределенностей к строго формулируемой задаче оптимизации.

Рассмотрим два возможных подхода: метод минимизации отношения разницы в значениях критериев оптимальности к их среднему значению и метод идеальной точки. Каждый критерий при заданных исходных условиях может иметь относительно лучшие или худшие значения. Будем считать наилучшее значение критерия условно оптимальным.

Известно, что невозможно найти такое сочетание значений оптимизируемых параметров, при котором все критерии одновременно принимали бы свои наилучшие или оптимальные значения. Например, увеличение числа путей позволяет увеличить пропускную способность парка станции, но в то же время увеличивает расходы, связанные с их амортизацией и ремонтом; увеличение времени работы РЭД в течение суток сокращает потребное число устройств, время ожидания выполнения технологических операций, но увеличивает численность персонала и т. д. Таким образом, задача сводится к нахождению такого набора значений варьируемых параметров, при котором их значения были бы максимально близкими к оптимальным.

В укрупненном виде алгоритм состоит из трех этапов. Первым этапом (шагом) алгоритма является вычисление значений критериев и значений их весов. На втором шаге вычисляются значения целевой функции при различных значениях и весах критериев. На третьем шаге полученные значения целевой функции выстраиваются в ранжированный ряд. Задача сводится к оптимизационной задаче, если описана функция сравнения принятых критериев или установлен какой-либо другой алгоритм выбора.

Пусть имеются два ряда чисел $\alpha_{1j}, \alpha_{2j}, \alpha_{3j}, \dots$ и $\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \alpha_{3k}, \dots$ длины n . Каждой компоненте рядов соответствуют числа $\lambda_i, i = 1, 2, \dots, n$, не зависящие от изменения этой компоненты и указывающие на ее вес в ряду значений критериев. Определены ограничения по λ_i для всех $i = 1, \dots, n$ при $\lambda_i \geq 0$ с условием нормирования

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.$$

Для решения данной задачи могут быть использованы различные подходы. Рассмотрим два основных метода. Первый вариант – метод идеальной

точки, в качестве которой принимается значение минимума суммы квадратов отклонений значений критериев от своих индивидуальных оптимальных значений для каждой конструкции и объема работы:

$$F_1 = \min \sum_i \left(\frac{\alpha_{ij}(A) - \alpha_{i\text{опт}}}{\alpha_{i\text{опт}}} \right)^2 \lambda_i,$$

где A – множество допустимых значений оптимизируемых параметров, состоящее из n элементов; i – порядковый номер критерия оптимизации, $i = 1, 2, \dots, n$; λ_i – вес i -го критерия; $\alpha_{ij}(A)$ – значение i -го критерия оптимизации при j -м наборе значений параметров; $\alpha_{i\text{опт}}$ – оптимальное значение i -го критерия при заданных исходных условиях.

В качестве альтернативного метода решения задачи может быть рассмотрен метод упорядочивания, при котором расчеты выполняются на основании экономико-математической модели. Ее суть заключается в следующем.

Принимается к использованию целевая функция оценки:

$$F_2 = \sum_i \left(\frac{\alpha_{ij} - \alpha_{ik}}{\alpha_{ij} + \alpha_{ik}} / 2 \right) \lambda_i (\pm 1) \rightarrow \max,$$

где α_{ij} – значение i -го критерия оптимизации, соответствующего варианту j ; α_{ik} – значение i -го критерия оптимизации, соответствующего варианту k .

Определение вектора улучшения целевой функции задается для того, чтобы получить возможность ранжировать полученные значения и расположить конструкции ПТС в порядке убывания приоритета.

Как уже отмечалось, выбор чисел $\lambda_i = 1, 2, \dots, n$ связан со степенью важности i -й компоненты (критерия) набора значений критериев данной станции и выбирается исходя из практических расчетов в связи со степенью их соответствия опытным данным. Выбор весов (значимости) критериев является сложной неформальной процедурой. При установлении веса каждого критерия возможно применение различных методов, но наиболее распространенным является метод экспертных оценок.

В случае равенства значений целевой функции можно считать оптимальным как вектор α_j , так и α_k . При изложении дальнейшего хода расчета по предлагаемому алгоритму и при учете описания этого алгоритма такое равенство отдельного значения не имеет. Выбор может быть сделан с добавлением к сравниваемым вариантам каких-либо дополнительных критериев. Для определения набора критериев можно воспользоваться графом (деревом) критериев. Вершинами графа являются критерии от 1 до n . Каждая ветвь графа определяет свой набор критериев, причем величины весов нормированы по каждой ветви.

Например, возьмем входящий поток составов пассажирских поездов размером Q . Этот поток может быть обработан по вариантам A, B, C . Рас-

считаем значения критериев. Предположим, что их семь для каждого варианта. Направления изменения критериев следующие:

$$\alpha_{1,2,3,5,7} \rightarrow \min, \alpha_{4,6} \rightarrow \max.$$

Веса критериев в соответствии с экспертным опросом распределены в возрастающем порядке номера числа λ_i . Предположим, что результаты вычисления целевой функции по этим вариантам следующие: $f(A) > f(B) > f(C)$. Следовательно, вариант A может быть признан оптимальным для данных условий, вариант B находится на первом уровне предпочтения, а вариант C – на втором.

Аналогичные ряды строятся для всех исследуемых конструкций. В результате такого построения и сравнения может быть определено оптимальное соотношение потоков составов пассажирских поездов и схем технического оснащения ПТС. Реализация данного экономико-математического метода позволяет получить оптимальное решение при создании проекта новой ПТС или проведении реконструктивных мероприятий, а также при выборе этапности проведения работ. На практике возможна ситуация, когда реализация оптимального варианта невозможна, например, ввиду недостаточного финансирования. В этом случае необходимо введение дополнительных ограничений по данному критерию.

Особо следует уделить внимание проблеме оценки сложности алгоритма расположения данного ряда чисел в ранжированный ряд. Указанная задача относится к задачам упорядочения. В работе [2] приводится значительное количество алгоритмов решения задач, подобных сформулированной выше (указаны нижняя, верхняя, точная и вероятностная оценки). Для определения оценки сложности выбора конструкции фиксируется входящий поток заявок и принимается, что в результате формируется S схем (конструкций). Тогда подобная схема представляет собой усложненную задачу упорядочения, которая в разных вариантах подробно рассмотрена в [2].

Например, упорядочим S данных чисел по возрастанию (убыванию). Отметим, что среди них могут быть одинаковые числа. Нижняя вероятностная оценка решения составляет $S - 1$. Нижняя точная оценка сложности упорядочения S чисел по возрастанию (убыванию) есть $\log_2(S!)$. Согласно [2] сложность любого алгоритма упорядочения S чисел оказывается не меньше $\log_2(S!)$.

Обратимся теперь к верхним оценкам задачи упорядочения S чисел по возрастанию (убыванию). Самые простые алгоритмы упорядочения имеют квадратичный порядок. Однако существуют более эффективные алгоритмы. В данном случае рассматривается класс алгоритмов, которые предполагают наличие структуры у упорядочиваемых элементов. Элементами структуры являются значения целевой функции, описанной выше, для двух конечных наборов чисел. Согласно [2] выбираем алгоритм со сложностью $Cn \log(n)$.

Частичным порядком на множестве X называется такое бинарное отношение R , что для любых элементов a, b и c , принадлежащих множеству X , выполняются утверждения:

$$\begin{aligned} &\langle a, a \rangle \in R \text{ (рефлексивность),} \\ &\langle a, b \rangle \in R \text{ и } \langle b, c \rangle \in R, \text{ то } \langle a, c \rangle \in R \text{ (транзитивность)} \\ &\text{и } \langle a, b \rangle \in R, \langle b, a \rangle \in R, \text{ то } a = b \text{ (антисимметричность).} \end{aligned}$$

Линейный порядок на множестве X есть такой частичный порядок на отношении R , когда для любых двух элементов a и b , принадлежащих множеству X , верно утверждение:

$$\langle a, b \rangle \in R \text{ или } \langle b, a \rangle \in R.$$

Задача упорядочения формулируется следующим образом: пусть на множестве X задан линейный порядок и последовательность элементов a_1, a_2, \dots, a_n , принадлежащих множеству X . Нужно найти такую перестановку этих элементов $a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n}$, чтобы выполнялось условие: $a_{ij} \leq a_{ik}$ при $j \leq k$. Алгоритмы решения этой задачи известны.

Рассмотрим множество из S чисел. Пусть имеется возможность упорядочить множество из $S - 1$ числа за $C(S - 1)\log(S - 1)$ сравнений. Упорядочим первые $S - 1$ числа за $C(S - 1)\log(S - 1)$ сравнений. Возьмем последнее число и, разбив первые $S - 1$ числа на два (возможно, неравных) множества, сравним последнее число с числом, стоящим в середине упорядоченных $S - 1$ чисел. В результате могут получиться две ситуации: четное $S - 1$ или нечетное $S - 1$. В первом случае $2k + 2 = S - 1$, во втором $2k + 1 = S - 1$.

Теперь оставшуюся часть, в которую попадет последнее число, снова разбиваем пополам и т. д. до тех пор, пока последнее число не найдет свое место. При этом мы проделаем не более $[\log_2 S] + 1$ сравнений (доказательство – индукция по S). Таким образом,

$$C(n - 1)(\log_2 n - 1) + [\log_2 n] + 1 \leq Cn \log_2 n.$$

Перечисленные параметры ПТС могут принимать разные значения, их сочетание является переменной величиной, влияющей на качественные и количественные показатели ее работы. К оптимизируемым параметрам в данном случае относится взаимное расположение основных парков, РЭД и ВММ, число путей и обслуживающих устройств, режим работы РЭД и ВММ, число бригад и т. д.

Таким образом, соответствующие алгоритмические процедуры позволяют быстро и эффективно получить решение данной задачи. Набор критериев функционирования ПТС может быть изменен или дополнен новыми критериями. Метод идеальной точки является более распространенным для решения задач оптимизации. Однако метод упорядочивания также является универсальным, и его использование позволяет достичь требуемого результата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Каширцева, Т. И.* Выбор рационального соотношения объемов работы и технического оснащения ПТС : дис. ... канд. техн. наук (05.22.08 – Управление процессами перевозок) / Т. И. Каширцева; рук. работы Н. В. Правдин. – М. : МИИТ, 2002. – 245 с.

2 *Шень, А.* Программирование: теоремы и задачи / А. Шень. – 6-е изд., доп. – М. : МЦНМО, 2017. – 320 с.

3 *Каширцева, Т. И.* Система критериев оптимизации технико-технологической структуры ПТС / Т. С. Каширцева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : Междунар. сб. науч. трудов ; под общ. ред. д-ра техн. наук А. К. Головнича. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 28–33.

T. I. KASHIRTSEVA

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL STRUCTURE OF PASSENGER COACH YARDS

Methods of optimization of technical equipment and operation technology of passenger coach and service yards are considered.

Получено 14.10.2018.

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019

УДК 656.2

К. И. КОРНИЕНКО, С. А. БЕССОНЕНКО

*Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)
kkonstantini@mail.ru*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ОТЦЕПА В СОРТИРОВОЧНОМ ПАРКЕ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ НАЗАД ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ

Рассматриваются проблемы движения отцепа назад после остановки в сортировочном парке. Предложен новый алгоритм расчета скорости движения отцепа, учитывающий откат отцепа. На основании данного алгоритма была разработана имитационная модель. Рассмотрены отличия в определении точки остановки отцепа по существующим и предлагаемому алгоритмам.

Совершенствование инфраструктуры Российских железных дорог является важным направлением, которое определено стратегией развития холдинга РЖД на период до 2030 года [1]. В настоящее время на сортировочных станциях происходит больше всего происшествий, угрожающих без-