УДК 629.4.021

В.А. Симонов

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПО КРИТЕРИЯМ ДИНАМИКИ

Рассмотрены особенности задачи выбора оптимальных параметров подвижного состава одновременно по нескольким динамическим показателям с учетом различных условий функционирования объекта.

Ключевые слова: показатели качества, свертка показателей, функция принадлежности, параметры подвижного состава, критерии динамики.

В данной статье уделим внимание двум важным особенностям задачи выбора параметров экипажной части подвижного состава: 1) необходимость учета одновременно нескольких показателей качества объекта; 2) необходимость учета различных условий функционирования (работы) объекта.

Первая особенность приводит к решению так называемых многокритериальных (многоцелевых) задач выбора рациональных решений. Вторая – заставляет делать этот выбор на множестве условий функционирования объекта (режимов движения, профилей пути, состояний изношенности подвижного состава и пути и т.д.).

Введем следующие ключевые понятия. *Альтернативы* – множество (счетное или несчетное) объектов, из которого следует сделать выбор. В данном случае это значения рассматриваемых параметров. В результате обоснования выбора определяются конкретные значения параметров, которые в соответствии с принятой процедурой выбора считаются оптимальными (рациональными). Отдельные показатели, как правило, предварительно подвергаются свертке *на множестве условий функционирования* объекта. Процедура выбора предполагает использование нескольких *показателей качества*, соответствующих объекту, которые, в свою очередь, подвергаются *свертке* в один (интегрированный) показатель. Процедура свертки представляет собой последовательность действий с показателями качества в соответствии с принятой *иерархической схемой* и используемыми при этом *критериями качества* [1].

Показатели динамических качеств подвижного состава формировались исторически в течение многих лет. Их структура и методика применения отражены в соответствующих нормативных документах. В данном случае не будем обсуждать их достоинства и недостатки, но обратим внимание на некоторые важные свойства показателей при их совместном рассмотрении. Одно из них - степень *согласованности (*или *противоречивости)* поведения отдельных показателей при изменении параметров системы «экипаж – путь» (т.е. на множестве альтернатив). Противоречивость показателей представляет проблему лишь тогда, когда задача поиска рациональных решений формулируется как многокритериальная. Действительно, если результаты оптимизации по одному показателю совпадают с оптимизацией по другому, то такие показатели можно считать полностью согласованными (непротиворечивыми) для условий этой задачи. В дальнейшем достаточно проводить оптимизацию по любому из этих показателей. Как быть, если в задаче нужно учесть два показателя, оптимумы по которым не совпадают? Как устанавливать компромисс между ними при формировании свертки из этих показателей? Следует или нет учитывать весовые коэффициенты (выполнять взвешивание) показателей при формировании свертки? Рассмотрим простые примеры.

Ниже на рис. 1-4 показаны характерные графики для двух показателей (задача поиска минимума) с различными видами их противоречивости: а) графики зависимости показателей П1 и П2 от оптимизируемого параметра X (для простоты представления рассмотрен лишь один), ограниченного интервалом поиска, $X \in \Omega$; б) графики зависимости одного показателя от другого при сканировании X на множестве Ω.

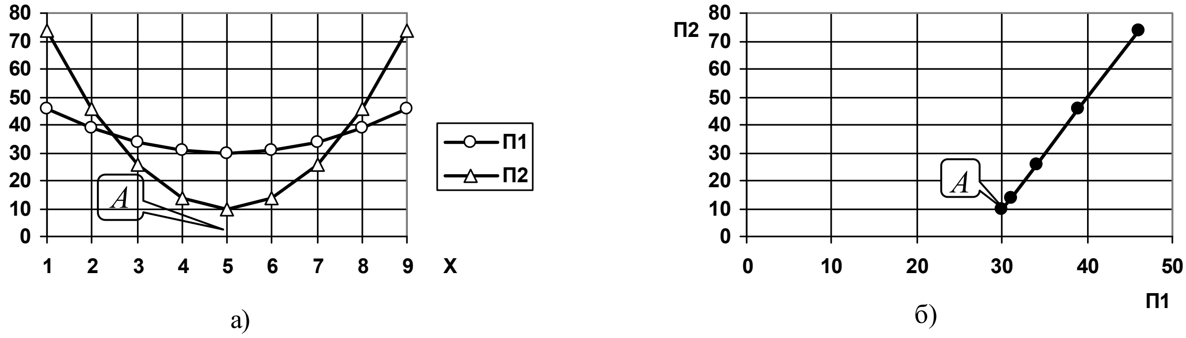

Рис. 1. Непротиворечивые показатели

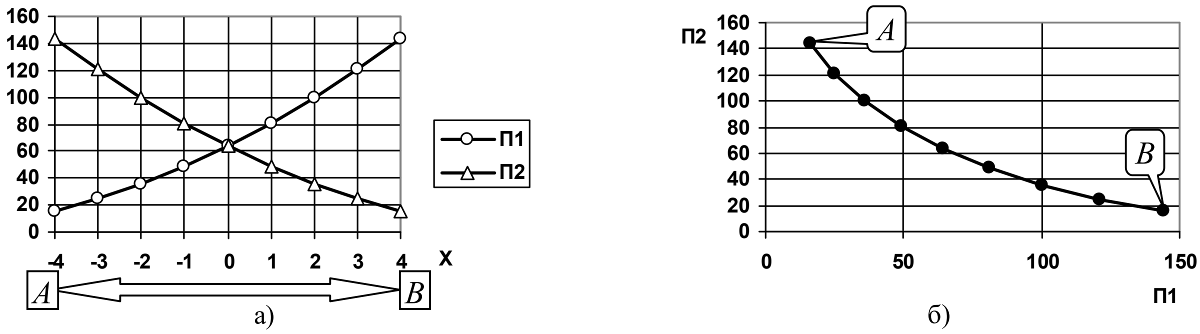

Рис. 2. Противоречивые показатели

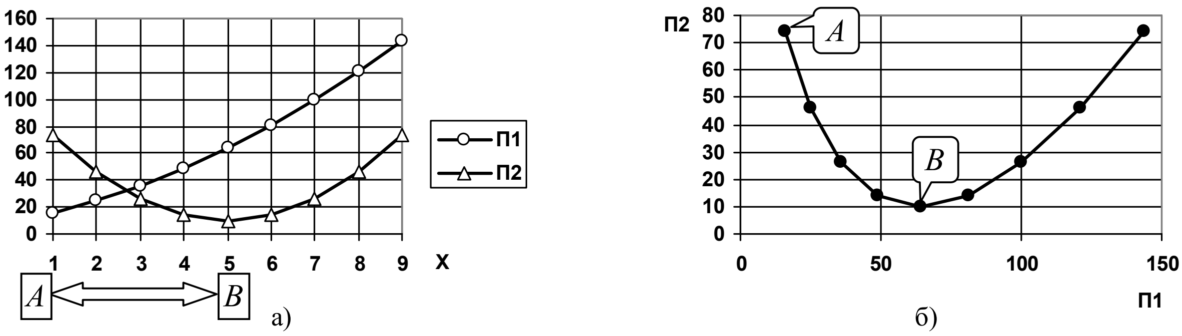

Рис. 3. Частично противоречивые показатели (случай 1)

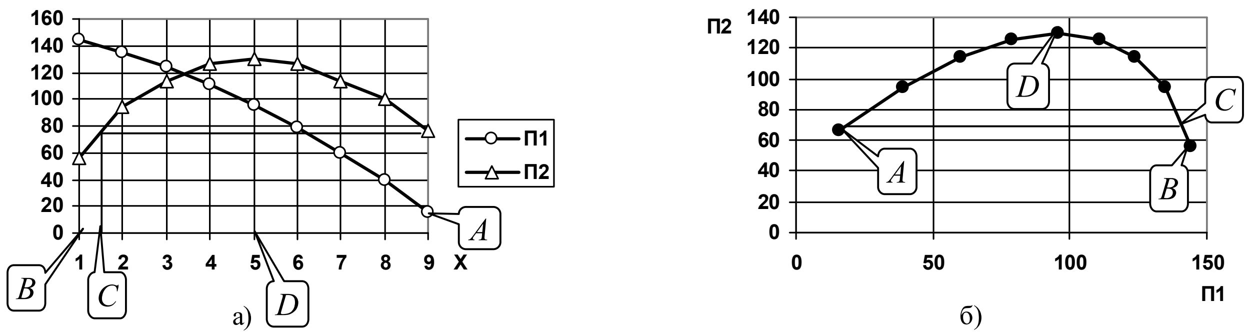

Рис. 4. Частично противоречивые показатели (случай 2)

Из графиков видно, что в случае непротиворечивых показателей множество решений содержит единственный элемент, в области альтернативных значений параметра, которому соответствуют оптимальные значения обоих показателей качества,- при $x = 5$ (точка A на рис. 1б). Для противоречивых показателей все точки графика на плоскости П1, П2 (рис.

2б) принадлежат области Парето и компромиссное решение задачи находится среди элементов этого множества. Противоречивость показателей, названных нами частично противоречивыми, наблюдается лишь на одном или нескольких подмножествах X (на рис. 3а и 4а это подмножества, где $x \in [1;5]$). Для частично противоречивых показателей возможны различные с точки зрения выбора решения ситуации. Одна из них иллюстрируется графиками на рис. 3. Компромиссное решение следует искать среди элементов множества Парето, $x \in [1;5]$ (участок кривой между точками А и Б на рис. 3б). Данная ситуация аналогична ситуации с противоречивыми показателями. Вторая ситуация представлена на рис. 4. В этом случае, несмотря на наличие подмножества $x \in [1;5]$ с противоречивыми изменениями показателей, решение следует искать среди точек, принадлежащих интервалу [1;1,6] (участок между точками В и С на рис. 4) и $x = 9$ (точка А на рис. 3б). Точка $x = 1{,}6$ должна быть исключена из списка альтернатив, поскольку в точке $x = 9$ при равенстве показателя П2 значение показателя П1 лучше.

Поиск решений на множестве Парето предполагает использование свертки на множестве показателей. Формирование свертки начинается с процедуры шкалирования показателей, т.е. приведения их значений к такому безразмерному виду, который бы позволял их сравнивать между собой. Удобным способом для этого является использование отношения текущего значения показателя к его предельно допустимому (наихудшему) значению. Обозначим такой показатель как $p_i(x)$, где $x = \{x_1, x_2, \dots x_m\}$ – вектор оптимизируемых параметров.

В этом случае $1 - p_i(x)$ можно интерпретировать как значение функции принадлежности объекта к множеству идеальных по данному показателю объектов. В данном случае это будет функция линейного вида. Мы здесь используем терминологию теории нечетких множеств, чтобы подчеркнуть то, что неопределенность, которую нужно преодолевать на данном этапе, – это неопределенность принадлежности к множеству, в отличие от неопределенности, связанной со случайностью событий.

Более корректным будет введение в рассмотрение специальной нелинейной функции принадлежности, определенной на интервале возможных значений показателя. На рис. 5 представлен возможный вид функции принадлежности к идеалу (ФПИ) показателя «Боковые силы».

а)

б)

Рис. 5. Возможный вид функции принадлежности показателя «Боковые силы» к идеалу:
а – кусочно-линейный; б – сглаженный

В соответствии с графиком на рис. 5а при значении показателя в интервале [0;30] показатель считается одинаково идеальным, а при значении, превышающем 90, – недопустимым. В интервале значений показателя [30;90] график функции принадлежности описывается зависимостью $(Fy - 90)/(90 - 30)$, где Fy – значения боковой силы. Большим значениям боковой силы будут соответствовать уменьшающиеся по линейному закону значения функции принадлежности. Для получения более адекватных оценок можно использовать сглаженные графики функции, например как на рис. 5б. В этом случае график функции принадлежности в интервале [20;100] описывается функцией 0,5(1+cos(π(Fy - 20)/(100 - 20))). Таким образом, на произвольном интервале [a;b] последняя функция имеет следующий вид:

$$0{,}5(1+\cos(\pi(Fy - a)/(b - a))).$$

Из-за невозможности объективно оценить потери и выигрыши, связанные с конкретными уровнями динамических показателей, в единой шкале ценностей (например, в рублях) используемые относительные значения показателей можно интерпретировать как результат оценки с применением некоторой функции полезности. Эта процедура переводит показатели в одну шкалу измерений с учетом величины каждого из них относительно предельных значений. Дополнительной проблемой при этом остаётся относительная весомость самих предельных значений показателей. Эта проблема возникает всегда, когда решения принимаются по нескольким показателям на множестве Парето.

Вес показателей, приведенных к одной шкале измерений, можно учесть при формировании интегрального критерия качества, который определяет процедуру свертки нескольких показателей в один. Классическими критериями являются аддитивный критерий Байеса-Лапласа и минимаксный (максиминный) [3]. Аддитивные критерии являются в ряде случаев более полезными при поиске оптимальных решений, чем минимаксные, и вследствие своего консерватизма менее подвержены флуктуациям [4]. Минимаксные критерии часто обладают большой дисперсией воспроизводимости результатов при малых вариациях условий численных экспериментов, поскольку оценки показателей формируются с помощью функционалов в виде квантилей на хвостах вероятностных распределений.

Аддитивную функцию свертки показателей можно представить в виде

$$P = \sum_i \alpha_i \cdot p_i(x) : i = \overline{1,n}\ .$$

В случае свертки показателя на условиях функционирования $\sum_i \alpha_i = 1$; α_i – вероятностная мера, характеризующая повторяемость i-го условия функционирования; p_i – значение показателя в i-м условии функционирования; n – количество условий функционирования.

В случае свертки на множестве показателей и при поиске решений на множестве Парето величина $\sum_i \alpha_i$ может быть любой (в том числе 1), а величина α_i отражает относительную важность показателя $p_i(x)$; n – количество показателей.

При нормировке показателей с использованием функции принадлежности в большинстве случаев можно принять одинаковую важность всех показателей в свертке, т.е. $\alpha_1=\alpha_2=\ldots=\alpha_n$. Минимаксный критерий при этом совпадает с пересечением нечетких множеств, а аддитивный критерий (без взвешивания) идентичен алгебраическому произведению нечетких множеств [1; 2]. Однако следует иметь в виду, что корректное использование аддитивного критерия предполагает независимость по полезности отдельных показателей в свертке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Симонов, В.А. Многокритериальный выбор технических решений с учетом условий эксплуатации подвижного состава/В.А.Симонов // Вестн. Восточно-Укр. нац. ун-та.- 2005.-№8(90).- Ч.1.- С. 78-85.
2. Kovalev, R. Freight Car Models and Their Computer-Aided Dynamic Analysis/ R.Kovalev, N.Lysikov, G.Mikheev, D.Pogorelov, V.Simonov, V.Yazykov, S.Zakharov, I.Zharov, I.Goryacheva, S.Soshenkov, E.Torskaya // Multibody System Dynamics.- 2009.- V. 22.- №4.- P. 399–423.
3. Мушник, Э. Методы принятия технических решений / Э.Мушник, П.Мюллер.- М.: Мир, 1990.-206с.
4. Симонов, В.А. Выбор динамических показателей для решения задач оптимизации параметров тележек грузовых вагонов / В.А.Симонов // Вестн. Восточно-Укр. нац. ун-та.- 2012.-№5(176).- Ч.2.- С. 29-34.

Материал поступил в редколлегию 23.04.15.