

2. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. – М.: Наука, 1969. – 368 с.

3. Сергиенко И.В., Каспшицкая М.Ф. Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации. – К.: Наук. думка, 1981. – 288 с.

Получено 14.02.2003

УДК 656.2.003.13

Т.Ю. КАЛАШНИКОВА

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Проведена оценка устойчивости сложной системы с определением пределов ее стабильного функционирования.

Согласно Концепции и программе реструктуризации железных дорог Украины одной из основных задач является приведение производственного и кадрового потенциала отрасли в соответствие с объемами выполняемой работы наряду с сокращением эксплуатационных расходов. Это возможно за счет совершенствования системы управления перевозок на основе внедрения новых информационных и ресурсосберегающих технологий.

Значительная часть расходов в перевозочном процессе связана с невыполнением сроков доставки грузов из-за перепростоя вагонов на станциях. В результате заметно сокращаются доходные поступления железных дорог от грузовладельцев [1-3].

Устранить этот недостаток можно путем сокращения простоя вагонов под накоплением путем варьирования (снижения) массы состава относительно установленной. При этом наличие отправления неполновесных поездов и сезонности грузопотоков вызывает необходимость корректировки работы отдельных подсистем сложной системы "депо - станция - перегон", в том числе локомотивного парка.

Одним из адекватных методов оценки динамических изменений состояний системы является метод динамики средних [4]. С использованием данного метода разработана модель функционирования поездных локомотивов в системе "депо - станция - перегон" при плечевом способе оборота локомотивов [5]. С этой целью на основе анализа технологии работы поездных локомотивов построен граф состояний и определены интенсивности переходов $\lambda_1 - \lambda_{15}$. Для установления средней численности локомотивов составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS_{01}}{dt} = -(\lambda_{14} + \lambda_{13})S_{01} + \lambda_{12}S_{15}, \\ \frac{dS_{12}}{dt} = -\lambda_{15}S_{12} + \lambda_{11}S_{15}, \\ \frac{dS_{13}}{dt} = -(\lambda_2 + \lambda_{10})S_{13} + \lambda_{14}S_{01} + \lambda_{15}S_{12}, \\ \frac{dS_{14}}{dt} = -(\lambda_4 + \lambda_3)S_{14} + \lambda_1S_{00} + \lambda_2S_{13} + \lambda_6S_{17}, \\ \frac{dS_{15}}{dt} = -(\lambda_{11} + \lambda_{12})S_{15} + \lambda_3S_{14} + \lambda_8S_{18}, \\ \frac{dS_{16}}{dt} = -\lambda_5S_{16} + \lambda_4S_{14}, \\ \frac{dS_{17}}{dt} = -(\lambda_6 + \lambda_7)S_{17} + \lambda_5S_{16} + \lambda_9S_{18}, \\ \frac{dS_{18}}{dt} = -(\lambda_8 + \lambda_9)S_{18} + \lambda_7S_{17} + \lambda_{10}S_{13}, \\ \frac{dS_{00}}{dt} = -\lambda_1S_{00} + \lambda_{13}S_{01}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Условие нормировки: $K = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^8 S_{ij}.$

Индексы состояния поездного локомотива S_{ij} для плечевого способа их обращения относительно основного депо определяют: i – парк пребывания локомотива, $i \in [0, 1]$ ($i=0$ – нахождение локомотива в неэксплуатируемом парке депо; $i=1$ – нахождение локомотива в эксплуатации); j – вид операции, которая проводится с локомотивом на данный момент времени, $j \in [0, 8]$. При этом S_{00} характеризует наличие локомотива в резерве управления дороги (РУД); S_{01} – нахождение локомотива в нерабочем парке депо (в процессе ТО-5, ТО-3, ТР-1, ТР-2, ТР-3, НР); S_{12} – нахождение локомотива на ТО-2 или в экипировке; S_{13} – простой локомотива в основном депо в ожидании рейса; S_{14} – состояние, которое включает процесс следования локомотива под состав поезда, движение локомотива во главе поезда двойной тягой или подталкиванием и отцепка локомотива от поезда на станции

оборота; S_{15} – следование локомотива в основное депо со станции основного депо; S_{16} – следование локомотива в обратное депо после отцепки от состава и стоянка локомотива в обратном депо станции данного участка обращения; S_{17} – ожидание рейса на станции обратного депо (учитывается от момента окончания его обработки к моменту выхода под состав); S_{18} – одиночное следование локомотива по участку обращения.

Так как данная система содержит более двух уравнений, то ее необходимо проверить на устойчивость. Устойчивость – это свойство системы возвращаться в исходный или близкий к нему установившийся режим из различных начальных состояний.

При исследовании устойчивости использованы теоремы А.М.Ляпунова [6, 7], а также для большей достоверности один из наиболее распространенных критериев – критерий Рауса (таблица). Для этого составлено характеристическое уравнение системы:

$$\Delta(L) = \begin{vmatrix} -\lambda_1 - L & \lambda_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(\lambda_{14} + \lambda_{13}) - L & 0 & 0 & 0 & \lambda_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\lambda_{15} - L & 0 & 0 & \lambda_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{14} & \lambda_{15} & -(\lambda_2 + \lambda_{10}) - L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_1 & 0 & 0 & \lambda_2 & -(\lambda_4 + \lambda_3) - L & 0 & 0 & 0 & \lambda_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_3 & -(\lambda_{11} + \lambda_{12}) - L & 0 & 0 & 0 & \lambda_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & -\lambda_5 - L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_5 & -(\lambda_6 + \lambda_7) - L & \lambda_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_{10} & 0 & 0 & 0 & \lambda_7 & -(\lambda_8 + \lambda_9) - L & 0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Разложением последнего получен ряд:

$$Y = -0,99L^8 - 6,44L^7 - 14,87L^6 - 16,54L^5 - 9,7L^4 - 3,01L^3 - 0,47L^2 - 3,08L - 6,09 \cdot 10^{-4}. \quad (3)$$

Решением характеристического уравнения обнаружен один нулевой корень, при этом вещественные части остальных корней отрицательны.

Этот случай называется критическим, хотя критерий Рауса (см. таблицу) говорит об асимптотической устойчивости системы, так как значения первого столбика имеют один знак.

Система регулирования в критическом случае называется нейтрально устойчивой системой. При этом устойчивость невозмущенного движения не может быть оценена по первому приближению. Поэтому была проведена дополнительная проверка системы на устойчивость. С этой целью характеристическое уравнение было приведено к виду

$$L_i D_0(L) = 0, \tag{4}$$

где полином $D_0(L)$ не имеет нулевых корней.

Проверка устойчивости системы по критерию Рауса

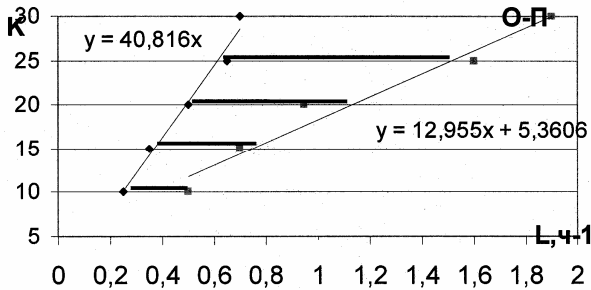
	r	N str	1	2	3	4	5
		1	-0,99	-14,9	-9,7	-0,47	-0,00061
		2	-6,4	-16,5	-3,01	-0,0308	0
r0	0,154688	3	-12,3477	-9,23439	-0,46524	-0,00061	
r1	0,518317	4	-11,7137	-2,76886	-0,03048	0	
r2	1,054125	5	-6,31567	-0,4331	-0,00061		
r3	1,854699	6	-1,96559	-0,02935	0		
r4	3,213118	7	-0,33878	-0,00061			
r5	5,801947	8	-0,02582	0			
r6	13,12013	9	-0,00061				

Дополнительная проверка (4) исключает нулевой корень, что говорит об асимптотической устойчивости системы (в соответствии с теоремами Ляпунова) при существующих условиях эксплуатации:

$$L := \begin{pmatrix} -3,017 \\ -1,165 \\ -0,982 + 0,4i \\ -0,982 - 0,4i \\ -0,545 \\ -0,31 + 0,065i \\ -0,31 - 0,065i \\ -0,055 \end{pmatrix}.$$

При этом анализом были определены пороговые значения интенсивностей движения на прилегающих к станции участках, соответствующие заданному размеру локомотивного парка, который обеспечивает стабильный режим функционирования системы. Интервалы стабильного функционирования работы системы для указанного количества локомотивов в парке депо представлены для одного из участков в графическом виде на рисунке. Методом наименьших квадратов определена линейная зависимость критических значений количества локомотивов, соответствующих той или иной интенсивности поездопотока для указанных условий функционирования.

Таким образом, метод динамики средних позволяет проанализировать все состояния локомотивного парка, как эксплуатируемого так и того, который находится в ремонте, и дать количественную оценку устойчивости функционирования сложной системы "депо – станция - перегон".



Пороговые значения стабильного функционирования системы на участке О-П

В перспективе предполагается использование данной модели с целью выявления необходимых мощностей и резервов отдельных подсистем сложной системы, а также пределов стабильности ее функционирования.

1. Яновський П.А. Обґрунтування заходів щодо збільшення експорту транспортних послуг у вантажних перевезеннях залізницями України. – К., 2001. – 224 с.
2. Кучеренко П.Г., Зубков В.Н., Тимошек И.Н. Экономически выгодные поезда // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №10. – С. 12-61
3. Мачерет Д.А., Чернигина И.А. Экономический риск на рынке грузовых перевозок // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 3. – С.61-63.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. радио, 1972. – 551 с.
5. Калашнікова Т. Ю. Модель забезпечення взаємодії функціонування системи "депо - станція - перегін" // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – №2. – С. 67-69 .
6. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Ч. 1. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 396 с.
7. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 222 с.

Получено 12.02.2003