

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ПОЕЗДНЫХ ЕДИНИЦ

В данной статье рассматривается определение потребного количества поездных единиц на конкретном участке железной дороги с учетом предпочтений пассажиров и стоимостных оценок поездов методом парных сравнений. Используемый метод базируется на теории нечетких множеств и дает возможность переключиться к общей шкале измерений с сохранением значений критериев.



Е.А. Середов

Ключевые слова: поездная единица, метод парных сравнений, нечеткие множества

DOI: 10.53883/20749325_2021_03_81

Пассажирские перевозки играют весомую роль в обеспечении жизнедеятельности общества. Установление потребного количества поездных единиц на участке железной дороги должно определяться не только с учетом освоения расчетного пассажиропотока, но и с учетом предпочтений пассажиров. Зачастую, при большом количестве поездных единиц, возникает проблема выбора «наилучшей» в связи с тем, что поездные единицы характеризуются различным комплексом нередко неоднозначных критериев [1].

Использование метода парных сравнений позволит ранжировать поездные единицы в порядке предпочтения и установить потребное их количество на рассматриваемом участке железной дороги.

Пример использования метода парных сравнений для выбора потребного количества поездных единиц

Исходные данные: расчетный участок, мощность струй пассажиропотоков Π_i , маршруты следования

поездных назначений x_j , период отправления поездов (утро, день, вечер, ночь), стоимостные оценки поездов E_j и время следования между пунктами $t_{сн}$. Исходные данные представлены на рис. 1.

Необходимо определить оптимальное число поездных единиц каждого поездного назначения (x_j) с учетом стоимостных оценок поездов и предпочтений пассажиров с учетом обеспечения беспересадочного сообщения.

В зависимости от периода суток (утро, день, вечер, ночь), группой экспертов определены весовые коэффициенты «предпочтения» каждой поездной единицы. Результаты экспертных оценок сведены в табл. 1.

Далее в зависимости от мощности пассажиропотока определены весовые коэффициенты струй (табл. 2).

Дроби в клетках показывают превосходство одного элемента по сравнению с другим. Здесь использовалось понятие «быть лучше в n раз», что также допустимо [2]. Нормируемая сумма получена путем деления суммы каждой строки на общую сумму столбца «Сумма по строке», т.е. на 121,39.

Середов Евгений Александрович, ассистент кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспорт. Автор шести научных работ.

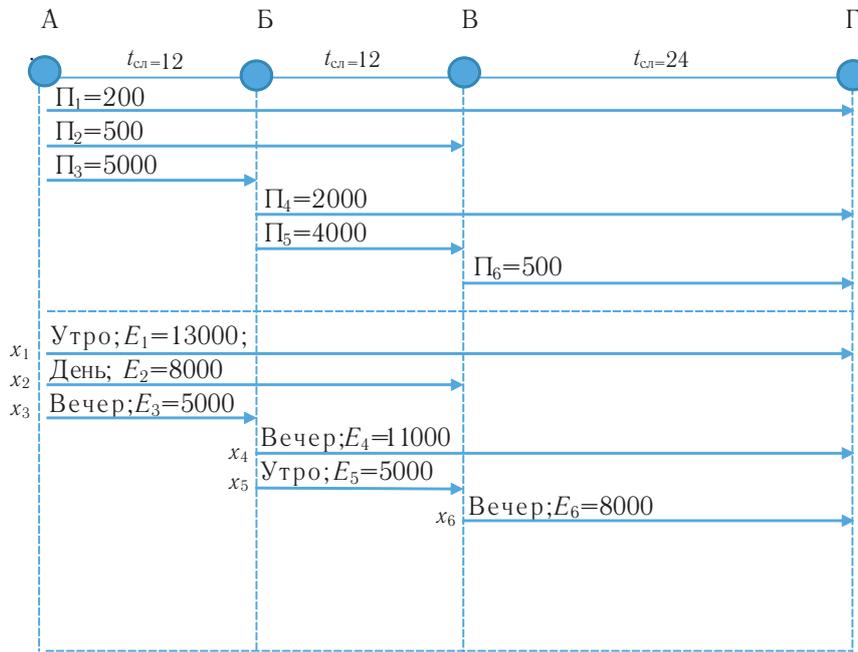


Рис. 1. Исходные данные для примера

Таблица 1

Результаты экспертных оценок поездных единиц

	А–Г	А–В	А–Б	Б–Г	Б–В	В–Г
x_1	1	0,71	0,2	0,5	0,37	0,36
x_2	–	0,29	0,13	–	0,11	–
x_3	–	–	0,67	–	–	–
x_4	–	–	–	0,5	0,37	0,36
x_5	–	–	–	–	0,15	–
x_6	–	–	–	–	–	0,28

Элементы матрицы M_z определяющей предпочтения поездных единиц, будут определяться по формуле [3]:

$$M_z = MA, \quad (1)$$

где A – матрица коэффициентов важности критериев; M – матрица значений функций принадлежности [4].

Максимальное значение функции принадлежности будет принадлежать «предпочтительной» поездной единице.

Следовательно, имеем:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0,71 & 0,2 & 0,5 & 0,37 & 0,36 \\ 0 & 0,29 & 0,13 & 0 & 0,11 & 0 \\ 0 & 0 & 0,67 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,37 & 0,36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,28 \end{bmatrix}$$

$$A = [0,016 \ 0,041 \ 0,410 \ 0,164 \ 0,328 \ 0,041].$$

Используя формулу (1), получаем матрицу элементов:

Таблица 2

**Результат определения весовых коэффициентов струй
в зависимости от мощности пассажиропотока**

	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	Сумма по строке	Нормируемая сумма
П ₁	1	0,4 (200/500)	0,04 (200/5000)	0,1 (200/2000)	0,05 (200/4000)	0,4 (200/500)	1,99	0,016
П ₂	2,5 (500/200)	1	0,1 (500/5000)	0,25 (500/2000)	0,125 (500/4000)	1 (500/500)	4,975	0,041
П ₃	25 (5000/200)	10 (5000/500)	1	2,5 (5000/2000)	1,25 (5000/4000)	10 (5000/500)	49,75	0,410
П ₄	10 (2000/200)	4 (2000/500)	0,4 (2000/500)	1	0,5 (2000/4000)	4 (2000/500)	19,9	0,164
П ₅	20 (4000/200)	8 (4000/500)	0,8 (4000/5000)	2 (4000/2000)	1	8 (4000/500)	39,8	0,328
П ₆	2,5 (500/200)	1 (500/500)	0,1 (500/5000)	0,25 (500/2000)	0,125 (500/4000)	1	4,975	0,041
Общая сумма:							121,39	1

$$M = \begin{bmatrix} 0,345 \\ 0,101 \\ 0,275 \\ 0,218 \\ 0,049 \\ 0,011 \end{bmatrix}.$$

$$M = \begin{bmatrix} 0,220 \\ 0,127 \\ 0,260 \\ 0,164 \\ 0,147 \\ 0,082 \end{bmatrix}.$$

Далее определяются весовые коэффициенты оценки стоимости поездных единиц. Результат оценки приведен в табл. 3.

Следовательно, учитывая равнозначно предпочтения пассажиров и стоимостные оценки поездных единиц, имеем:

$$M = \begin{bmatrix} 0,345 & 0,094 \\ 0,101 & 0,153 \\ 0,275 & 0,245 \\ 0,218 & 0,110 \\ 0,049 & 0,245 \\ 0,011 & 0,153 \end{bmatrix}$$

$$A = [0,5 \quad 0,5].$$

Используя формулу (1), получаем матрицу элементов:

Таким образом, применяя метод парных сравнений можно утверждать, что «предпочтительной» следует считать поездную единицу a_1 .

Принимая вместимость каждой поездной единицы 700 человек, определим требуемое число поездов на каждом участке. Данные сведены в табл. 4.

Учитывая матрицу элементов определяем требуемое число поездных единиц каждого поездного назначения. Очередность определения количества поездных единиц одного назначения устанавливается в зависимости от густоты пассажиропотока на участке. Наибольшее количество пассажиропотока наблюдается на участке Б–В.

Участок Б–В

Поездные назначения в порядке предпочтения:

x_1 (0,220)

x_2 (0,127)

x_4 (0,164)

x_5 (0,147)

Нормируем поездные единицы поездных назначений так, чтобы их сумма равнялась 1:

x_1 (0,334)

x_2 (0,193)

Таблица 3

**Результат определения коэффициентов важности критерия
в зависимости от стоимостных оценок поездных единиц**

	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Сумма по строке	Нормируемая сумма
Π_1	1	0,615 (8000/13000)	0,385 (5000/13000)	0,846 (11000/13000)	0,385 (5000/13000)	0,615 (8000/13000)	3,846	0,094
Π_2	1,625 (13000/8000)	1	0,625 (5000/8000)	1,375 (11000/8000)	0,625 (5000/8000)	1	6,25	0,153
Π_3	2,6 (13000/5000)	1,6 (8000/5000)	1	2,2 (11000/5000)	1	1,6 (8000/5000)	10	0,245
Π_4	1,18 (13000/11000)	0,73 (8000/11000)	0,45 (5000/11000)	1	0,45 (5000/11000)	0,73 (8000/11000)	4,54	0,110
Π_5	2,6 (13000/5000)	1,6 (8000/5000)	1	2,2 (11000/5000)	1	1,6 (8000/5000)	10	0,245
Π_6	1,625 (13000/8000)	1	0,625 (5000/8000)	1,375 (11000/8000)	0,625 (5000/8000)	1	6,25	0,153
Общая сумма:							40,886	1

Таблица 4

Результат определения требуемого количества поездных единиц

Участок	Пассажиропоток на участке	Вместимость каждой поездной единицы	Требуемое число поездных единиц
А–Б	5700	700	9
Б–В	6700	700	10
В–Г	2700	700	4

x_4 (0,249)

x_5 (0,224)

Учитывая долю каждого поездного назначения в порядке предпочтения, определим требуемое число поездов на участке:

$0,334 \cdot 10 = 3,34$. Принимаем 3 поездные единицы поездного назначения x_1

$0,193 \cdot 10 = 1,93$. Принимаем 2 поездные единицы поездного назначения x_2

$0,249 \cdot 10 = 2,49$. Принимаем 3 поездные единицы поездного назначения x_4

$0,224 \cdot 10 = 2,23$. Принимаем 2 поездные единицы поездного назначения x_5

После участка Б–В наибольшее количество пассажиропотока наблюдается на участке А–Б.

Участок А–Б

Поездные назначения в порядке предпочтения:

x_1 (0,220)

x_2 (0,127)

x_3 (0,260)

Нормируем поездные единицы поездных назначений так, чтобы их сумма равнялась 1:

x_1 (0,362)

x_2 (0,210)

x_3 (0,428)

Учитывая долю каждого поездного назначения в порядке предпочтения, определим требуемое число поездов на участке:

$0,362 \cdot 9 = 3,258$. Принимаем 3 поездные единицы поездного назначения x_1 . Количество поездных единиц x_1 на участке А–Б совпадает с количеством поездных единиц x_1 на участке Б–В. Перерасчет результатов не требуется.

$0,210 \cdot 9 = 1,89$. Принимаем 2 поездные единицы поездного назначения x_2 . Количество поездных единиц x_2 на участке А–Б совпадает с количеством поездных единиц x_2 на участке Б–В. Перерасчет результатов не требуется.

$0,428 \cdot 9 = 3,852$. Принимаем 4 поездные единицы поездного назначения x_3 .

Далее требуется определить число поездных единиц на участке В–Г.

Участок В–Г

Поездные назначения в порядке предпочтения:

x_1 (0,220)

x_4 (0,164)

x_6 (0,082)

Нормируем поездные единицы поездных назначений так, чтобы их сумма равнялась 1:

x_1 (0,47)

x_4 (0,35)

x_6 (0,18)

Учитывая долю каждого поездного назначения в порядке предпочтения, определим требуемое число поездов на участке:

$0,47 \cdot 4 = 1,88$. Принимаем 2 поездные единицы поездного назначения x_1 . Количество поездных единиц x_1 на участке В–Г не совпадает с количеством поездных единиц x_1 на участках Б–В и А–Б. В связи с этим, принимаем 3 поездные единицы назначения x_1 .

$0,35 \cdot 4 = 1,4$. Принимаем 2 поездные единицы поездного назначения x_4 . Количество поездных единиц x_4

на участке В–Г не совпадает с количеством поездных единиц x_4 на участке Б–В. В связи с этим, принимаем 3 поездные единицы назначения x_4 .

$0,082 \cdot 4 = 0,328$. Принимаем 0 поездных единиц назначения x_6 .

Результат определения требуемого количества поездных единиц на рассматриваемом участке представлен на рис. 2.

Показатели поездных единиц расчетного участка представлены в табл. 5

Выводы

По результатам выполненной работы, с учетом изученных работ [5–10], было определено требуемое количество поездных единиц на рассматриваемом участке железной дороги с учетом предпочтений пассажиров и стоимостных оценок поездов. Используемый при этом метод позволил получить большое количество сравнений поездных единиц между собой и, таким образом, повысить точность оценки поездных единиц при определении требуемого их количества. 

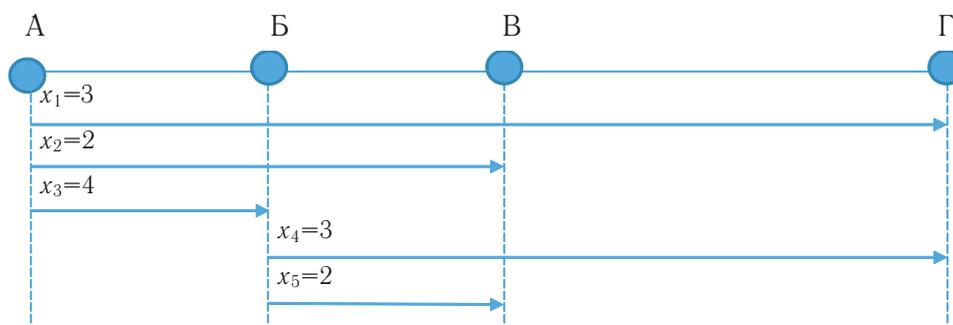


Рис. 2. Результат определения требуемого количества поездных единиц на рассматриваемом участке железной дороги

Таблица 5

Показатели поездных единиц расчетного участка

Участок	Пассажиропоток на участке	Вместимость каждой поездной единицы	Требуемое число поездов	Общая вместимость всех поездных единиц	Коэффициент населенности поездных единиц
А–Б	5700	700	9	6300	0,90
Б–В	6700	700	10	7000	0,96
В–Г	2700	700	6	4200	0,64

Литература

1. Перегудов, Ф.И. Основы системного анализа: Учебник / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с. – ISBN 5-89503-004-1. – Текст: непосредственный.
2. Саати, Томас Л. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – Москва: Радио и связь, 1993. – 315 с. – ISBN 5-256- 00443-3. – Текст: непосредственный.
3. Саати, Томас Л. Математические модели конфликтных ситуаций / Томас Л. Саати; пер. с англ. В.Н. Веселова и Г.Б. Рубальского; под ред. [и с предисл.] И.А. Ушакова. – Москва: Сов. радио, 1977. – 302 с. – Текст: непосредственный.
4. Оптимизационная модель деятельности управляющей компании / В.П. Грахов, Ю.Г. Кислякова, О.Л. Симченко [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Челябинского государственного университета. Вып. 64. – 2019. – № 3 (425). – С. 168–176.
5. Пазойский, Ю.О. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения): учебное пособие / Ю.О. Пазойский, В.Г. Шубко, С.П. Вакуленко. – Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 364 с. – ISBN 978-5-89035-913-1. – Текст: непосредственный.
6. Кочнев, Ф.П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Ф.П. Кочнев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Транспорт, 1980. – 496 с. – Текст: непосредственный.
7. Пазойский, Ю.О. Математическая модель установления функции спроса пассажиров на перевозки в дальнем сообщении / Ю.О. Пазойский, Д.В. Глазков. – Текст: непосредственный // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 6. – С. 39–41.
8. Левин, Д.Ю. Пути освоения перспективных пассажиропотоков / Д. Ю. Левин, В.И. Лукашев. – Текст: непосредственный // Прогрессивная организация, техника и технология пассажирских перевозок: сборник научных трудов. Труды ВНИИЖТ; под ред. Б.Е. Марчука. – Москва: Транспорт, 1984. – С. 125–142.
9. Панова, О.Н. План формирования пассажирских поездов при условии удовлетворения спроса на категории мест: специальность 05.22.08: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Панова Ольга Николаевна; Моск. гос. ун-т путей сообщ. МПС РФ. – Москва, 2001. – 174 с. – Текст: непосредственный.
10. Пути освоения пассажиропотоков на перспективу / НТО ж.-д. трансп.; [Подгот. В.И. Лукашев и др.]. – Москва: Транспорт, 1985. – 40 с. – Текст: непосредственный.