

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИГОДНОСТИ ОПЕРАТОРА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА ПОЕЗДА

© 2015

А.Д. Сиразетдинова, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация железных дорог»*С.А. Золотарев*, инженер отдела телекоммуникаций,

аспирант кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины»

*Красноярский институт железнодорожного транспорта,**филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, Красноярск (Россия)*

Ключевые слова: пути необщего пользования (ПНП); оператор подвижного состава (ОПС); теория нечетких множеств; эксплуатационные затраты; комплексный показатель пригодности.

Аннотация: В статье рассматривается возможность сокращения эксплуатационных затрат путей необщего пользования на переработку вагонопотока за счет разработки системы поддержки принятия решений оперативным персоналом при формировании состава поезда вагонами различных операторов и предложена методика выбора данных операторов. Также были проанализированы маршруты движения вагонов по путям необщего пользования, порядка шестьсот пятнадцати тысяч вагонов, выявлены закономерности и факторы, оказывающие влияние на основные экономические показатели и стоимость переработки вагонопотока на путях необщего пользования.

Авторами предложено оценивать операторов подвижного состава для формирования состава поезда на путях необщего пользования по трем основным показателям: стоимость, скорость, качество. Для каждого показателя определены количественные и качественные факторы, оказывающие влияние на их изменения, также составлены матрицы попарных сравнений и определены нормализованные векторы приоритетов матриц для данных показателей. Учет влияния данных факторов в разработанной модели выбора операторов подвижного состава для путей необщего пользования производился с использованием теории нечетких множеств. Для каждого фактора были определены его возможные значения, построены функции принадлежности, отражающие степень предпочтения данных факторов.

Для дальнейшего решения поставленной задачи – формирования состава поезда на путях необщего пользования вагонами различных операторов – предлагается разработать программный продукт, который будет просчитывать увеличение или уменьшение эксплуатационных затрат в зависимости от показателей операторов подвижного состава в текущий момент времени. Данный продукт должен помочь диспетчерскому аппарату определять количество и наименование операторов подвижного состава для каждого поезда за приемлемое время.

В современных условиях возрастающей конкуренции со стороны других видов транспорта одной из главных задач, стоящих перед транспортно-технологическими системами железных дорог, является обеспечение высокой экономической эффективности всех этапов перевозочного процесса, которая в значительной мере определяется расходами на переработку вагонопотока.

Тенденцией последнего десятилетия является увеличение количества доли частного подвижного состава и уменьшение инвентарного парка на рынке железнодорожных грузовых перевозок [1]. Это привело к появлению большого количества операторов подвижного состава (ОПС) на праве аренды, лизинга или полной собственности.

Этап выбора ОПС для осуществления перевозок для грузоотправителя и грузополучателя продукции является одним из важных этапов перевозочного процесса, так как при выборе ОПС для перевозки следует учитывать множество факторов, которые в дальнейшем повлияют на эффективность всего перевозочного процесса.

На основании статистических данных по путям необщего пользования (ПНП) было определено, что среднее время оборота вагонов на промышленной транспортной системе превышает среднее нормативное время оборота вагонов на 26,8 %. Превышение времени оборота вагонов увеличивает эксплуатационные затраты и снижает пропускную способность. 68 % от общего времени оборота вагона приходится на простой.

Анализ маршрутов движения вагона по ПНП выявил значительное время, которое затрачивалось на определение груза следующей перевозки и направления

дальнейшего использования вагона после выгрузки. Выявил наличие 1 % вагонов, которые зашли под погрузку, но не погрузились, и 15 % вагонов неоднократно пытались загрузиться, но погрузка не состоялась по причине отказа оператора от погрузки данного груза либо на данном направлении.

В своих работах ученые А.В. Бугаев [2], С.Г. Журавин [3], П.А. Козлов [4], А.Т. Дерибас [5], А.Н. Платонов [6], Е.А. Сотников [7], С.В. Трофимов [8] пришли к выводу, что промышленный транспорт на текущем этапе своего развития исчерпал свои резервы пропускной способности существующей схемы путевого развития.

Увеличение путевого развития и введение дополнительных мощностей не дает положительного результата из-за усложнения общей технологии работы транспорта.

В ходе проведения исследований [9; 10] была выдвинута гипотеза зависимости времени простоя вагонов от количества вагонов у собственника.

В результате рассмотрения маршрутов движения 615 тысяч вагонов по ПНП выявлено, что 80 % вагонов принадлежит крупным ОПС.

Следует отметить, что наибольшее количество операторов (60 % от общего количества операторов) наблюдается в группе с прибытием до 10 вагонов.

При этом превышение простоя вагонов отмечено у 95 % вагонов с 1 операцией, что частично является следствием значительного коэффициента неравномерности прибытия грузов (4.13 в среднем для грузовой станции). Столь значительное увеличение коэффициента неравномерности связано с исчерпанием резервов пропускной способности, многократным увеличением

сортировочной работы в связи с большим числом операторов и несовпадением темпов наращивания производственных мощностей и прироста путевого развития.

Большие неравномерности грузопотока влекут за собой увеличение эксплуатационных расходов на содержание дополнительных резервов локомотивов, вагонов и дополнительные затраты на развитие транспортно-грузовых комплексов.

На основании данных обработки статистики были построены вероятностные зависимости влияния признаков ОПС на годовые экономические показатели. В частности, существующая методика расчета эксплуатационных затрат на переработку вагонопотока на ПНП складывается из затрат обслуживания пути, устройств сигнализации, централизации, блокировки (СЦБ) и связи, затрат локомотивной и вагонной службы, а также затрат на организацию движения.

Выбор ОПС оказывает существенное влияние на изменение затрат локомотивной и вагонной службы. Затраты на содержание пути, службы СЦБ и связи остаются неизменными, так как они слабо зависят от интенсивности использования данных устройств в условиях ПНП.

Затраты службы эксплуатации зависят от платы за пользование вагонами на ПНП и особенностей договорных отношений с ОПС.

Затраты локомотивной службы состоят из затрат на эксплуатацию непосредственно локомотива и затрат на оплату труда машиниста и помощника машиниста. Данные затраты изменяются только в случаях сверхнормативного использования рабочего времени бригады, так как влекут за собой резкое изменение фонда оплаты труда. Затраты локомотивной службы также зависят от коэффициента использования локомотива, и в случае нерационального проведения маневровых операций данный коэффициент возрастает, как следствие, возрастают затраты, тем не менее объем эффективной, выполненной работы остается неизменным.

Затраты вагонной службы существенно зависят от норматива времени нахождения вагона на ПНП, который, в свою очередь, подчинен договорным отношениям.

В предлагаемой методике снижение эксплуатационных расходов $\mathcal{E}_{год}$ планируется в большей степени за счет снижения затрат вагонного хозяйства, повышения эффективности вложений на организацию движения, за счет увеличения пропускной способности участков и в меньшей степени – за счет снижения затрат локомотивной службы:

$$\mathcal{E}_{эф} = \mathcal{E}_{год} - \Delta\mathcal{E}_{лок} - \Delta\mathcal{E}_{ваг} - \Delta\mathcal{E}_{оргдв},$$

где $\Delta\mathcal{E}_{лок}$ – величина снижения затрат локомотивной службы;

$\Delta\mathcal{E}_{ваг}$ – величина снижения затрат вагонной службы;

$\Delta\mathcal{E}_{оргдв}$ – величина снижения затрат на организацию движения.

Затраты на организацию движения в условиях обязательного нахождения сменного персонала на рабочих местах постоянны, вне зависимости от объемов переработки вагоно- и поездопотоков.

В данном случае речь идет о повышении эффективности затрат путем снижения коэффициента неравномерности прибытия и отправления и повышения пропу-

скающей способности в результате исключения нерациональных перевозок.

Снижение затрат локомотивной службы планируется реализовать за счет уменьшения годового фонда рабочего времени локомотива. Снижение затрат вагонной службы – за счет нахождения оптимальных параметров стоимости одного вагоночаса и неоплачиваемого времени оборота вагона по ПНП.

Определение затрат вагонной службы происходит по формуле:

$$\mathcal{E}_{ваг} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p (C_{ij}^{cob} \cdot n_{ij}^{cob} \cdot t_{ij}^{cob}) + \sum_{j=1}^p (C_j^{заг} \cdot n_j^{заг} \cdot t_j^{заг})$$

Снижение затрат вагонной службы описывается оптимизационной формулой:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p (C_{ij}^{cob} \cdot t_{ij}^{cob}) \rightarrow \min$$

при ограничении: $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p t_{ij}^{cob} \leq t_{об}^{нор}$,

где C^{cob} , $C^{заг}$ – стоимость одного вагоночаса для операторов вагонов и вагонов заводского парка;

k – количество операторов, участвующих в данном перевозочном процессе;

p – тип подвижного состава;

n – количество вагонов, участвующих в перевозке, ваг;

t_{ij}^{cob} – время оборота ОПС; $t_{об}^{нор}$ – нормативное время оборота вагона.

Для уменьшения данных затрат предлагается оценить имеющихся ОПС по трем показателям. Пример оценки приведен в таблице 1.

Таблица 1. Показатели ОПС

Оператор	Показатель стоимости \vec{S}	Показатель скорости \vec{V}	Показатель качества \vec{K}
Оператор 1	S_1	V_1	K_1
Оператор 2	S_2	V_2	K_2
...
Оператор i	S_i	V_i	K_i

Для определения комплексного показателя пригодности оператора перевозки были определены факторы, оказывающие влияние на изменение данных показателей (рис. 1).

Выявленные факторы характеризуют ОПС с количественной и качественной стороны. Исследования факторов выявили, что на текущий момент не все факторы учитываются в принятии решения при выборе ОПС. Часть факторов используется только при заключении договорных отношений, часть факторов обозначена нормативными документами, но учет не ведется [11].

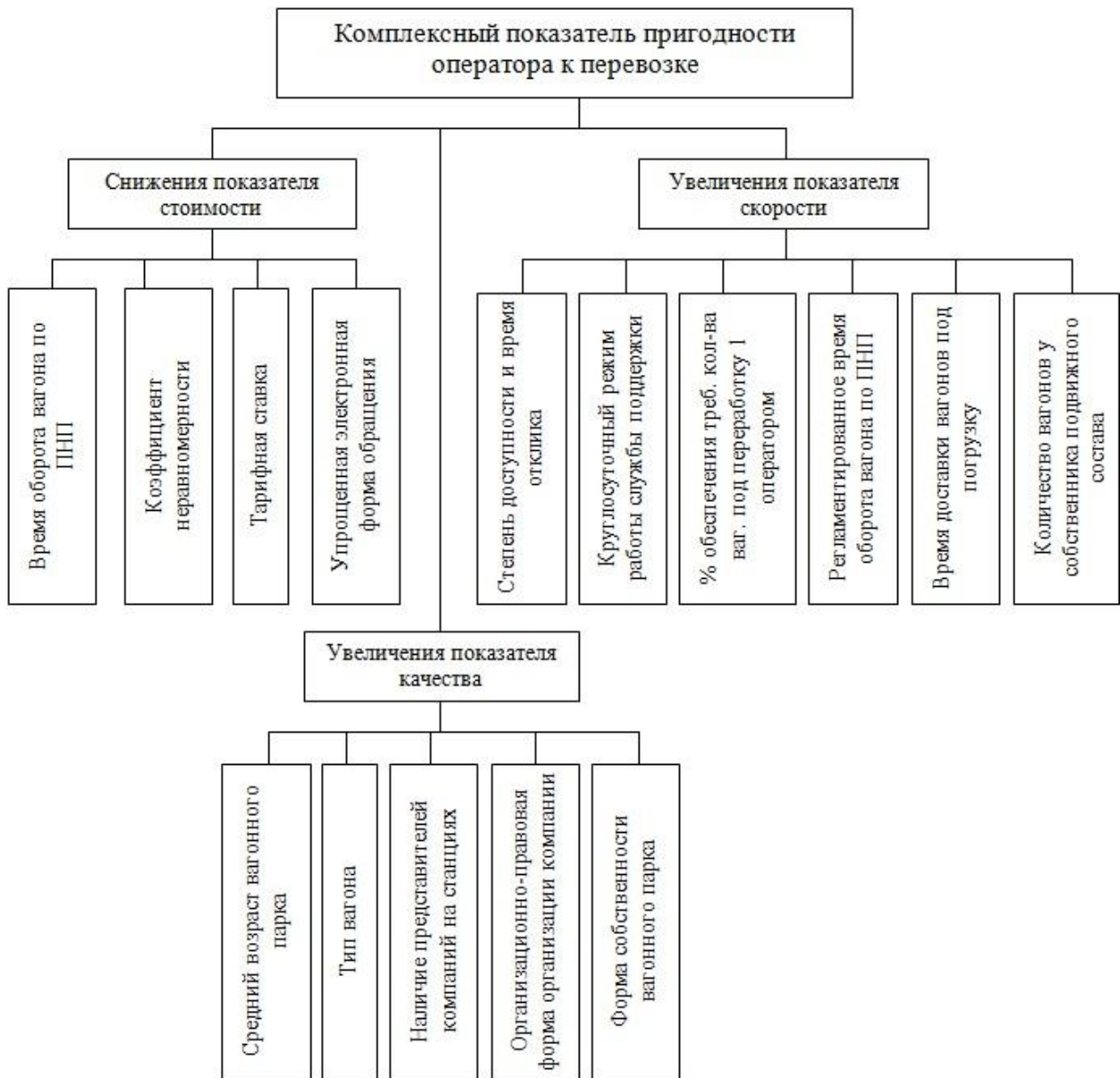


Рис. 1. Соотнесения факторов показателям

Учет влияния данных факторов в разработанной модели выбора оператора подвижного состава производился с использованием теории нечетких множеств [12–14].

Определение степени важности факторов проводилось методом экспертных оценок [15; 16] согласованного решения экспертов из числа работников путей общего и необщего пользования. На основании данных значений составлены матрицы попарных сравнений и определены нормализованные векторы приоритетов матрицы [17] для каждого показателя. Пример матрицы попарных сравнений факторов для показателя стоимости приведен в таблице 2.

Для каждого фактора были определены его возможные значения и построены функции принадлежности [18; 19]. Функция принадлежности задает степень предпочтения для конкретного значения фактора (степень предпочтения – вещественное число в интервале

от 0 до 1), функции принадлежности для показателя стоимости приведены на рис. 2.

Из фактических значений функций принадлежности на текущий момент каждого фактора для *i*-го количества операторов строятся расчетные матрицы по трем показателям: стоимость, скорость, качество. В таблице 3 приведен пример расчетной матрицы.

Результирующий вектор данной матрицы используется для определения комплексного показателя путем умножения расчетной матрицы на данный вектор.

Вычисление вектора показателя стоимости производится по формуле:

$$\vec{S} = (a_{ij}) \cdot \vec{N}^{стоим.},$$

где a_{ij} – матрица фактических значений функций принадлежности всех факторов для показателя стоимости;

Таблица 2. Матрица попарных сравнений факторов для показателя стоимости

		Степень важности				Построчное произведение	Корень четвертой степени	Нормализованный вектор приоритетов	
		9	8	8	6				
Степень важности	№ п/п	Фактор	1	2	3	4			
			1	2	3	4			
9	1	Тарифная ставка	1	1,13	1,13	1,50	1,92	1,18	0,29
8	2	Коэффициент неравномерности	0,89	1	1	1,33	1,18	1,04	0,26
8	3	Время оборота вагона по ПНП	0,89	1	1	1,33	1,18	1,04	0,26
6	4	Упрощенная электронная форма обращения	0,67	0,75	0,75	1	0,38	0,79	0,19
Сумма столбцов			3,45	3,88	3,88	5,16	-	4,05	1
λ			1	1	1	1	λ_{max} 4	ИС 0	ОС 0

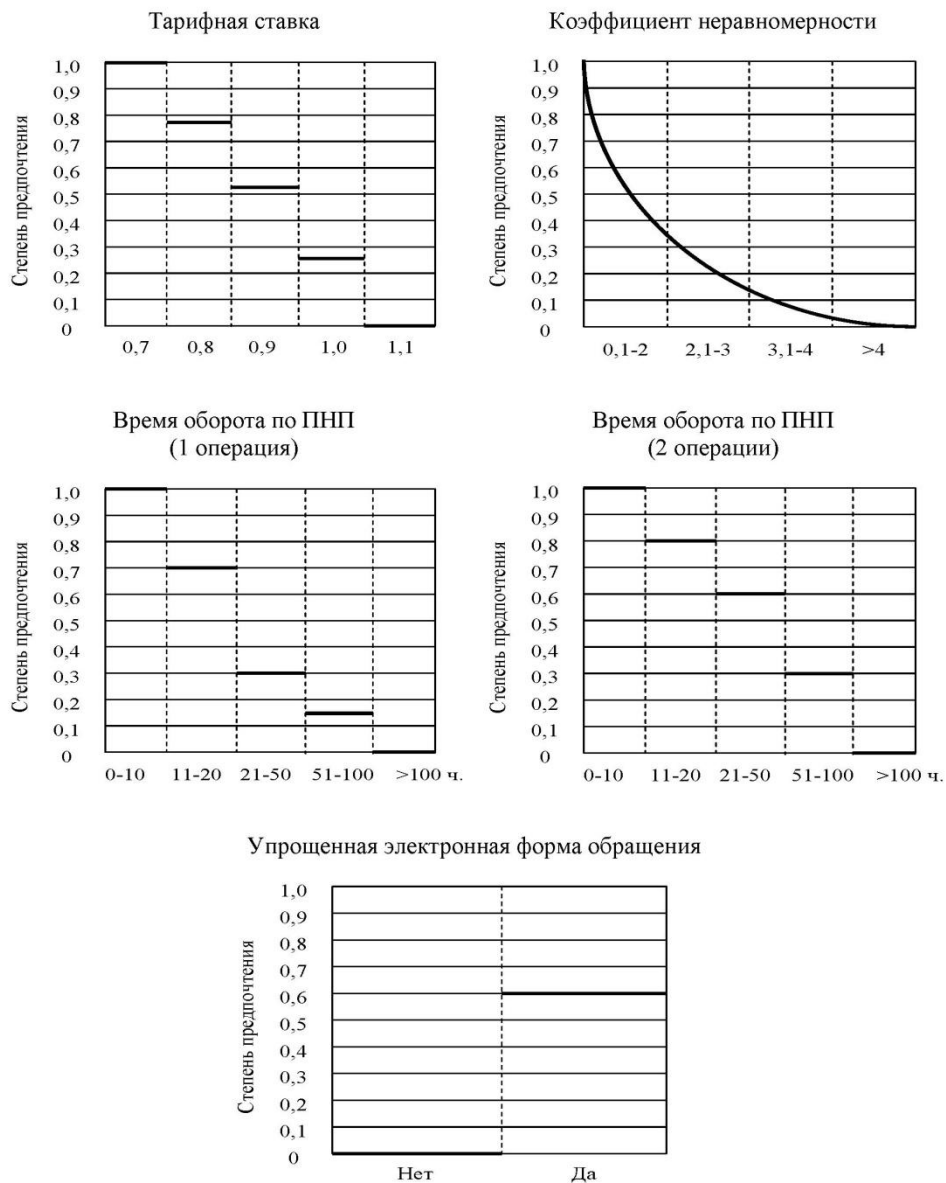


Рис. 2. Функции принадлежности для показателя стоимости

$\vec{N}^{стоим}$ – нормализованный вектор матрицы попарных сравнений факторов для показателя стоимости.

Вычисление вектора показателя скорости производится по формуле:

$$\vec{V} = (a_{ij}) \cdot \vec{N}^{скор},$$

где a_{ij} – матрица фактических значений функций принадлежности всех факторов для показателя скорости;

$\vec{N}^{скор}$ – нормализованный вектор матрицы попарных сравнений факторов для показателя скорости.

Вычисление вектора показателя качества производится по формуле:

$$\vec{K} = (a_{ij}) \cdot \vec{N}^{кач},$$

где a_{ij} – матрица фактических значений функций принадлежности всех факторов для показателя качества;

$\vec{N}^{кач}$ – нормализованный вектор матрицы попарных сравнений факторов для показателя качества.

Таблица 3. Пример расчетной матрицы показателя стоимости

Фактор \ Оператор	Фактор 1	Фактор 2	...	Фактор j
Оператор 1	A_{11}	A_{12}	...	A_{1j}
Оператор 2	A_{21}	A_{22}	...	A_{2j}
...
Оператор i	A_{i1}	A_{i2}	...	A_{ij}

Результат проведенных вычислений показал, что на каждый текущий момент работы возможно автоматическое определение векторов комплексного показателя пригодности оператора к перевозке.

Корректность применения данного метода производится проверкой согласованности матриц [20] путем расчета индекса согласованности и отношения согласованности.

В дальнейшем возможно разработать программное обеспечение на основе математической модели, которое будет просчитывать увеличение или уменьшение эксплуатационных затрат в зависимости от показателей ОПС в текущий момент времени, помогающее диспетчерскому аппарату определять количество и наименование ОПС при формировании каждого поезда на ППП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Собственники подвижного состава. URL: yuzd.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=4111 (дата обращения: 29.08.2014).

2. Бугаев А.В. Выбор оптимальных методов организации работы промышленных транспортных систем : дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 234 с.

3. Журавин С.Г. Взаимодействие производственных подразделений и промышленного железнодорожного транспорта в условиях интенсификации : дис. ... канд. техн. наук. М., 1987. 268 с.

4. Козлов П.А. Динамические резервы адаптивных промышленных транспортных систем // Сб. научн. тр. / Моск. ин-т инж. ж.-д. трансп. Вып. 718. М., 1983. С. 26–38.

5. Новые формы транспортного обслуживания промышленных предприятий // Тр. ВНИИЖТа. Вып. 281. М.: Транспорт, 1964. 102 с.

6. Платонов А.Н. Повышение качества транспортного обслуживания предприятий при расширении границ взаимодействия магистрального и промышленного транспорта // Транссиб-100 : сборник тезисов докладов научно-технической конференции. Новосибирск, 1991. С. 71–72.

7. Сотников Е.А., Шенфельд К.П. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2011. № 5. С. 3–9.

8. Трофимов С.В. Выбор оптимальных методов оперативного управления работой промышленного железнодорожного транспорта : дис. ... канд. техн. наук. М., 1990. 194 с.

9. Золотарев С.А. Необходимость изучения законов распределения оборота вагонов на путях необщего пользования // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 2. № 4. С. 8–13.

10. Фуфачева М.В., Сиразетдинова А.Д. Методика выбора собственника подвижного состава для эффективной работы с вагонопотоками путей необщего пользования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 413–416.

11. Сиразетдинова А.Д. Методика управления вагонопотоками на путях необщего пользования, учитывающая оперативную загруженность станций : дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2010. 122 с.

12. Недосекин А.О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами // Аудит и финансовый анализ. 2000. № 2. С. 26–37.

13. Сиразетдинова А.Д., Пыталева О.А. Применение теории нечетких множеств для определения степени загруженности элементов транспортной сети // Авто-транспортное предприятие. 2009. Вып. 11. С. 54–55.

14. Малышев И.А. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия экономических решений на основе методов теории нечетких множеств : дис. ... канд. экон. наук. Волгоград, 2006. 156 с.

15. Огурцов А.Н., Староверова Н.А. Алгоритм повышения согласованности экспертных оценок в методе анализа иерархий // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. № 5. С. 81–84.

16. Орлов А.И. Теория принятия решений. М.: Март, 2004. 567 с.

17. Нормализованный вектор // Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М., 2002. С. 229.
 18. Рыжаков В.В., Рыжаков М.В. Функции принадлежности элементов нечетких множеств на универсальных шкалах, адаптированных различными функциями отображения // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2009. № 3. С. 93–97.
 19. Каид В.А. Методы построения функций принадлежности нечетких множеств // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. № 2. С. 144–153.
 20. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
- REFERENCES**
1. Rolling stock owners. URL: yuzd.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=4111 (дата обращения: 29.08.2014).
 2. Bugaev A.V. *Vibor optimalnih metodov organizatsii raboti promishlennih transportnih system*. Diss. kand. tehn. nauk [Selection of optimal methods of work organization of industrial transportation systems]. Moscow, 1984, 234 p.
 3. Zhuravin S.G. *Vzaimodeystvie proizvodstvennih podrazdeleniy i promishlennogo zheleznodorozhnogo transporta v usloviyah intensivifikatsii*. Diss. kand. tehn. nauk [Interaction of production departments and industrial railway transport under the intensification conditions]. Moscow, 1987, 268 p.
 4. Kozlov P.A. Dynamic reserves of adaptive industrial transportation systems. *Sbornik nauchnih trudov Moskovskogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, Moscow, 1983, vol. 718, pp. 26–38.
 5. Новые формы транспортного обслуживания промышленных предприятий. *Trudi VNIIZhT*, Moscow, 1964, vol. 281, 102 p.
 6. Platonov A.N. Повышение качества транспортного обслуживания предприятий при расширении границ взаимодействия магистрального и промышленного транспорта. *Sbornik tezisov dokladov nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Transsib-100"*, Novosibirsk, 1991, pp. 71–72.
 7. Sotnikov E.A., Shenfeld K.P. Irregularity of freight transportation under contemporary conditions and its influence on required traffic capacity of line sections. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*, 2011, no. 5, pp. 3–9.
 8. Trofimov S.V. *Vibor optimalnih metodov operativnogo upravleniya rabotoy promishlennogo zheleznodorozhnogo transporta*. Diss. kand. tehn. nauk [Selection of optimal methods of operative control of industrial transportation systems activity]. Moscow, 1990, 194 p.
 9. Zolotarev S.A. The necessity of studying laws of distribution of rolling stock turnover within the uncommon use railways. *Sbornik nauchnih trudov SWorld*, 2013, vol. 2, no. 4, pp. 8–13.
 10. Fufacheva M.V., Sirazetdinova A.D. The rolling stock owner choice methods for efficient work with non-public railway track of car traffic volume. *Nauchno-tehnicheskyy vestnik Povolzhya*, 2012, no. 6, pp. 413–416.
 11. Sirazetdinova A.D. *Metodika upravleniya vagonopotokami na putyakh neobshchego polzovaniya, uchityvayushchaya operativnuyu zagruzhennost stantsiy*. Diss. kand. tehn. nauk [Methods of car traffic volume control within the uncommon use railways considering the active workload of stations]. Ekaterinburg, 2010, 122 p.
 12. Nedosekin A.O. Application of fuzzy-sets theory when solving the tasks of finance management. *Audit i finansoviy analiz*, 2000, no. 2, pp. 26–37.
 13. Sirazetdinova A.D., Pytaleva O.A. Application of fuzzy-sets theory for determination of loading level of transportation network elements. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009, no. 11, pp. 54–55.
 14. Malishev I.A. *Razrabotka intellektualnoy sistemi podderzhki prinyatiya ekonomicheskikh resheniy na osnove metodov teorii nechetkih mnozhestv*. Diss. kand. ekon. nauk [Development of the intelligent support system for economic decisions-making on the base of the methods of fuzzy-sets theory]. Volgograd, 2006, 156 p.
 15. Ogurtsov A.N., Staroverova N.A. Algorithm of improvement of expert evaluations consistency within the method of hierarchy analysis. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2013, no. 5, pp. 81–84.
 16. Orlov A.I. *Teoriya prinyatiya resheniy* [Decision theory]. Moscow, Mart publ., 2004, 567 p.
 17. Нормализованный вектор. Osovsky S. *Neyronnie seti dlya obrabotki informatsii* [Нейронные сети для обработки информации]. Moscow, 2002, p. 229.
 18. Ryzhakov V.V., Ryzhakov M.V. Membership functions of fuzzy sets elements on the universal scales adapted by various onto functions. *Oboronnyy kompleks – nauchno-tehnicheskomy progressu Rossii*, 2009, no. 3, pp. 93–97.
 19. Qaid W.A. Methods construction membership function of fuzzy sets. *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 2013, no. 2, pp. 144–153.
 20. Saati T.L. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy* [Decision-making. Method of hierarchy analysis]. Moscow, Radio i svyaz publ., 1993, 320 p.

**THE APPLICATION OF INTEGRATED INDICATORS OF THE OPERATOR'S SUITABILITY
WHILE MAKING UP WAGONS INTO A TRAIN**

© 2015

A.D. Sirazetdinova, candidate of technical sciences,
assistant professor of the Department of Railway operation
S.A. Zolotarev, engineer of the Department of telecommunications,
post-graduate student of the Department of Mathematical and Natural Sciences
Krasnoyarsk Institute of Railway Transport,
branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Krasnoyarsk (Russia)

Keywords: the way non-public owner of the rolling stock; the theory of fuzzy sets; operating costs; complex index of suitability.

Annotation: The article discusses the possibility of reducing operational costs ways exhalations for processing molasses cars through the development of support systems decision making by operational staff in the formation of a train of cars of different operators and the proposed method of data selection operators. There were analyzed the routes of the cars in the ways exhalations about six hundred fifteen thousand cars, established relationships, factors affecting key economic indicators and the cost of processing the stream of cars on the tracks exhalations.

The authors proposed to estimate the operators of rolling stock forming part of a train on the tracks exhalations on three main criteria: cost, speed, quality. For each indicator identified quantitative and qualitative factors affecting the changes in them as composed of a matrix of pair wise comparisons and defined the normalized vectors of priorities matrix for these indicators. The influence of these factors in the developed model the choice of rolling stock operators for paths exhalations were made using the theory of fuzzy sets. For each factor were identified its possible values, built membership function, reflecting the degree of preference of these factors.

For further task - forming composition of the trains on the tracks exhalations cars of different operators are encouraged to develop software that will calculate the increase or decrease in operating costs depending on the performance of the rolling stock operators in the current time. This product should help control apparatus to determine the number and name of the rolling stock operators for each train in a reasonable time.