

ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В УЗЛАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СЕТИ

Сухов А.А.

Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ))
arkhonfills@list.ru

Аннотация: рассмотрена возможность применения взвешенного размещения теории графов к выбору мест дислокации восстановительных поездов, выявлены натуральные и стоимостные показатели, влияющие на выбор решения, предложена методика решения задачи выбора мест дислокации восстановительных поездов.

Ключевые слова: восстановительные поезда, транспортные происшествия, перевозочный процесс, взвешенное размещение

Введение

Восстановительные поезда являются специальными формированиями железнодорожного транспорта, предназначенными для ликвидации последствий транспортных происшествий различного масштаба.

Проблема определения мест дислокации восстановительных средств и их оптимального количества в настоящее время принимает большую актуальность, несмотря на это проблема

является малоизученной. Однако достаточно хорошо изучены родственные проблемы, связанные с надежностью технических средств и регулированием поездной ситуации при возникновении отказов.

В исследовании [3] рассмотрены технико-технологические и экономические факторы, влияющие на размещение восстановительных поездов, используемых на железнодорожном транспорте для ликвидации последствий транспортных происшествий.

Негативный эффект от инфраструктурных ограничений из-за технических отказов в своей работе [4] изучает Е.Н. Тимухина. В ее работах существенное внимание уделяется функциональной надежности станционных устройств и анализу влияния технических отказов станционных устройств на процессы работы станций в целом. В основе исследований Е.Н. Тимухиной лежат методы имитационного моделирования и теория случайных процессов. В [5] Н.Е. Окулов также прибегает к имитационному моделированию: он применяет его, чтобы оценить функциональную надежность инфраструктурных элементов, которые используются при взаимодействии железнодорожного транспорта с производственными предприятиями, а также влияние отказов на технологические процессы крупных предприятий, примыкающих к железнодорожным станциям.

При возникновении барьерных мест особое внимание необходимо уделять регулировочным мерам для стабилизации поездной ситуации. В.С. Климанов в своей статье [7] отмечает, что насыщение линий и участков приводит к понижению ряда эксплуатационных показателей вследствие инфраструктурных ограничений. Техническая станция в силу ограничений не сможет постоянно принимать поезда, следующие в ее адрес с переработкой из-за ограниченного количества путей парка приема и перерабатывающей способности горки, в результате чего, будет образовываться сгущение грузовых поездов на подходах к технической станции. Для предотвращения подобной ситуации необходимо проводить определенные регулировочные меры, выбор которых зависит от расчета эффективности в той или иной ситуации.

В качестве регулировочной меры в своей работе [8] Е.А. Сотников и П.С. Холодняк рассматривают возможность использования доступной инфраструктуры полигона для временной отстановки вагонов или поездов, которые не могут быть приняты выгрузочными районами. Авторы предлагают подобную стратегию не только для рационального использования инфраструктурных возможностей станций, но и для минимизации расходов при простое вагонов.

1 Натуральные и стоимостные показатели, влияющие на выбор решения

Возникшее барьерное место приведет к полному или частичному снижению пропускной способности участка, что в свою очередь вызовет простой поездов. При оценке вариантов размещения восстановительных поездов необходимо обращать внимание не только на исходные характеристики станции возможной дислокации (наличие локомотивных резервов, путевого развития и т.д.), но и характеристики прилегающих участков, такие как расстояния до ближайших технических и участковых станций, нормативные размеры движения поездов различных категорий.

Кроме того, при моделировании процесса развития поездной ситуации после образования барьерного места важно учитывать показатели надежности осуществления процесса перевозок и обеспечения тяговыми ресурсами вывоза поездов с технических и грузовых станций, а также убытки от простоя поездов [3].

При оценке количества восстановительных поездов необходимо обращать внимание как на их регулярные затраты (фонд заработной платы работников восстановительных поездов, затраты на техническое обслуживание восстановительных устройств и т.д.) так и на нерегулярные затраты, связанные с деятельностью восстановительных поездов по их прямому назначению.

2 Постановка задачи

Пусть модель полигона – это неориентированный граф, в котором вершины – крупные технические и узловые станции, а ребра – железнодорожные участки. Каждое ребро рассматриваемого графа имеет длину и вес. Длина ребра равна длине участка модели. Вес ребра равен потенциальным экономическим потерям, для расчета которых используется коэффициент, который рассчитывается по формуле (1):

$$(1) P(i,j) = (N_{ск} * C_{ск} + N_{пасс} * C_{пасс} + N_{гр} * C_{гр} + N_{сб} * C_{сб} + N_{уск} * C_{уск} + N_{приг} * C_{приг}),$$

где $N_{ск}$, $N_{пасс}$, $N_{гр}$, $N_{сб}$, $N_{уск}$, $N_{приг}$ - нормативные размеры движения, соответственно, скоростных пассажирских, пассажирских, грузовых, сборных, ускоренных грузовых и пригородных поездов, установленные на рассматриваемом участке;

Сск, Спасс, Сгр, Ссб, Суск, Сприг - стоимость простоя 1 поезд-часа, соответственно, скоростных пассажирских, пассажирских, грузовых, сборных, ускоренных грузовых и пригородных поездов;

Величина потенциальных экономических потерь от возникновения барьерного места на определенном участке определяется по формуле:

$$(2) E(i,j) = (P(i,j)_1 * T_1 + P(i,j)_2 * T_2 + P(i,j)_3 * T_3 + P(i,j)_4 * T_4) / 24,$$

где T_1 – время, необходимое для подъема восстановительного поезда и его доставки к месту возникновения транспортного происшествия [3];

T_2 – время от начала восстановительных работ до частичного восстановления перевозочной мощности элемента инфраструктуры [3];

T_3 – время на выполнение оставшихся работ по восстановлению перевозочной мощности инфраструктурного элемента до предыдущего уровня [3];

T_4 – время на стабилизацию поездной ситуации [3]. Под «стабилизацией» понимается возвращение системы к исходному состоянию.

Определение расположения восстановительных поездов является задачей теории графов на определение главного центра [6]. Для определения главного центра необходимо использовать алгоритмы построения матрицы нахождения кратчайшего пути.

Согласно [6] главный центр – любая вершина x , такая, что расстояние от нее до максимально отдаленной точки на дуге графа минимально, т.е. минимальное расстояние вершина-дуга (МВД):

$$(3) \text{МВД}(x) = \min \{ \text{МВД}(i) \},$$

где $\min \{ \text{МВД}(i) \}$ - наименьшая величина строки i матрицы нахождения кратчайшего пути, согласно алгоритму Данцига.

Однако определение места дислокации восстановительного поезда с учетом одного лишь расстояния до предполагаемых барьерных мест на железнодорожных участках может быть недостаточно объективным, поскольку в данном случае в расчет не берутся размеры движения и, соответственно, потери от вынужденного простоя поездов различных категорий. Поэтому в данном случае целесообразно рассмотрение варианта взвешенного размещения. При этом каждому элементу рассматриваемой матрицы будет соответствовать произведение весов, входящих в элемент ребер, на длину элемента.

Таким образом, можно расположить восстановительные поезда не только с учетом расстояния от места его постоянной дислокации до точки возникновения барьерного места, но и с учетом потенциального ущерба от вынужденного простоя поездов различных категорий, предусмотренных графиком движения поездов.

3 Методика решения

Железная дорога рассматривается как неориентированный граф, состоящий из определенного количества подграфов. Количество подграфов определяется количеством восстановительных поездов, установленных для данной железной дороги. Начальное количество восстановительных поездов, рассматриваемых в решении, принимается равным действующему актуальному количеству поездов;

Каждому восстановительному поезду присваивается зона обслуживания (определяется делением общей протяженности железнодорожных линий на число восстановительных поездов), размер которой определяется по территориальному принципу (протяженности зон обслуживания восстановительных поездов примерно равны). Полученные зоны обслуживания разбивают исходный граф на составляющие подграфы.

Для каждого подграфа определяются вес и длина составляющих его ребер. Затем происходит определение главных центров подграфов и производится выбор мест дислокации восстановительных поездов на каждой рассматриваемой зоне обслуживания.

Происходит объединение рассматриваемых подграфов в единый граф и в случае нахождения полученных главных центров рассматриваемых подграфов в непосредственной близости друг от друга, производится корректировка числа восстановительных поездов, затем рассчитывается эффективность новой схемы размещения.

Предложенный порядок действий повторяется вновь уже с измененным количеством восстановительных поездов до тех пор, пока не исчезнет необходимость в корректировке количества восстановительных поездов или пока эффективность размещения восстановительных поездов не перестанет увеличиваться.

Рассмотрим модель полигона (рис.1), с расположенными на нем техническими станциями, каждая из которых может быть использована для дислокации на ней восстановительного поезда. Железнодорожные участки являются однопутными, на них осуществляется только грузовое движение.

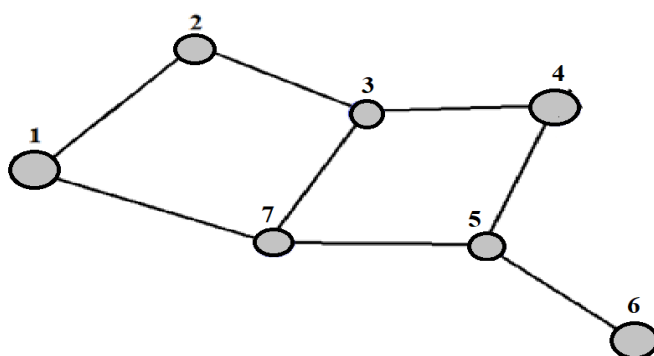


Рис.1. Модель железнодорожного полигона

Данную модель можно рассматривать в качестве неориентированного графа, в котором железнодорожные участки являются ребрами, а технические станции – вершинами. Ребра обладают такими характеристиками как размеры движения, протяженность. Данные по ребрам сведены в таблицу 1. Для удобства вычисления каждому ребру присвоим номер.

Таблица 1. Характеристики ребер графа

Ребро ограничено вершинами	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	5 - 7	7 - 1	3 - 7
Условная нумерация ребра	1	2	3	4	5	6	7	8
Размеры движения, пар поездов/сут.	20	23	18	21	24	19	22	25
Протяженность, км	70	50	50	60	50	80	40	60

Определим кратчайшие расстояния между вершинами и сведем их в матрицу D (Таблица 2).

Для определения главного центра рассматриваемого графа необходимо построить матрицу D', в которой будут учтены кратчайшие расстояния вершина-дуга.

Для построения матрицы D' необходимо воспользоваться формулой (4):

$$(4) d'(i, (r,s)) = (d(j,r) + d(j,s) + a(r,s))/2,$$

где $d'(i, (r,s))$ – расстояние от вершины до дуги;

$d(j,r)$ – расстояние от вершины до одной из вершин дуги;

$d(j,s)$ – расстояние от вершины до другой вершины дуги;

$a(r,s)$ – длина дуги.

Таблица 2. Общий вид матрицы D кратчайших расстояний вершина – вершина

		Вершины						
		1	2	3	4	5	6	7
Вершины	1	0	70	100	150	120	170	40
	2	70	0	50	100	160	210	110
	3	100	50	0	50	110	160	60
	4	150	100	50	0	60	110	110
	5	120	160	110	60	0	50	80
	6	170	210	160	110	50	0	130
	7	40	110	60	110	120	130	0

Воспользовавшись формулой (6) получаем следующий вид матрицы D' (таблица 3).

Таблица 3. Общий вид матрицы D' кратчайших расстояний вершина – дуга

		Условная нумерация ребер							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Вершины	1	70	110	150	165	170	120	40	100
	2	70	50	100	160	210	175	110	110
	3	100	50	50	110	160	175	100	60
	4	160	100	50	60	110	125	150	110
	5	175	160	110	60	50	130	170	175
	6	225	210	160	110	50	130	170	175
	7	110	110	110	140	150	80	40	60

После определения весов каждого из ребер рассматриваемого графа, а также с учетом результатов расчетов, сведенных в таблицу 3, можно построить матрицу взвешенного размещения E' , каждый из элементов которой рассчитывается по формуле (5):

$$(5) e(i, (r,s)) = E(i,j) * d'(i, (r,s)).$$

Таблица 4. Общий вид матрицы взвешенного размещения

		Условные наименования ребер							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Вершины	1	7904	16919	20869	28135	33660	15841	4395	15495
	2	7904	5894	11569	26845	46830	27864	16499	17760
	3	12854	5894	4613	15448	30680	27864	14426	7734
	4	25567	14782	4613	6786	17655	16811	25936	17760
	5	29331	29402	13241	6786	6150	17805	31342	35661
	6	43570	44879	23010	15448	6150	17805	31342	35661
	7	14713	16919	13241	21958	27825	8978	4395	7734

Из каждой строки, соответствующей вершине, выбираем наибольшее значение. Из полученных значений для каждой вершины выбираем наименьшее, которое будет главным центром графа.

$$МВД (1) = 33660$$

$$МВД (2) = 46830$$

$$МВД (3) = 30680$$

$$МВД (4) = 25936$$

$$МВД (5) = 35661$$

$$МВД (6) = 44879$$

$$МВД (7) = 27825$$

Согласно полученным результатам, вершина 4 является главным центром графа, и соответствующая ей станция наибольшим образом подходит для размещения восстановительного поезда на ней при данных начальных условиях.

Если уменьшить размеры движения поездов на ходу 1-7-5-4, таким образом, как указано в таблице 5, то главный центр графа сместится в вершину 3.

Таблица 5. Второй вариант характеристики ребер графа

Ребро ограничено вершинами	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	5 - 7	7 - 1	3 - 7
Условная нумерация ребра	1	2	3	4	5	6	7	8
Размеры движения, пар поездов/сут.	20	23	18	11	9	9	10	25
Протяженность, км	70	50	50	60	50	80	40	60

Если уменьшить размеры движения поездов на ходу 1-2-3-4, таким образом, как указано в таблице 6, то главный центр графа сместится в вершину 7.

Таблица 6. Третий вариант характеристики ребер графа

Ребро ограничено вершинами	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	5 - 7	7 - 1	3 - 7
Условная нумерация ребра	1	2	3	4	5	6	7	8
Размеры движения, пар поездов/сут.	10	13	8	21	24	19	22	25
Протяженность, км	70	50	50	60	50	80	40	60

Выводы

В данной работе предлагается применение теории графов к системе размещения восстановительных поездов.

- 1) Для оценки вариантов выбора места дислокации восстановительного поезда на железнодорожном полигоне возможно применение алгоритма по поиску главного центра неориентированного графа, ребра которого представляют собой железнодорожные участки с присущими им характеристиками;
- 2) Для поиска места дислокации восстановительного поезда на железнодорожном полигоне может быть использован алгоритм поиска главного центра, который учитывает не только расстояния между участковыми и техническими станциями, но и интенсивность движения на участках полигона;
- 3) Предложен порядок поиска наиболее подходящих мест дислокации восстановительных поездов на железных дорогах.

Литература

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 26 декабря 2011 г. №2792р «Об утверждении и вводе в действие инструктивных указаний по организации аварийно-восстановительных работ на железных дорогах ОАО «Российские железные дороги». [Электронный ресурс].
2. <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=527851#04008700663103699>
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31 декабря 2015 г. №3188р «Об утверждении результатов классификации железнодорожных линий». [Электронный ресурс].
4. <http://rly.su/ru/content/об-утверждении-результатов-классификации-железнодорожных-линий>
5. *Бородин А.Ф., Сухов А.А.* Обеспечение функциональной надежности перевозочного процесса при размещении восстановительных средств железных дорог. Материалы конференции «Управление развитием крупномасштабных систем», М., 2018. - С.44-46.
6. *Тимухина Е.Н.* Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н., Екатеринбург, 2012. - 44с.
7. *Окулов Н.Е.* Методы и способы совершенствования взаимодействия производства и транспорта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., Екатеринбург, 2014. - 16с.
8. *Майника Э.* Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. Мир, М., 1984. - 324с.
9. *Климанов В.С.* Об эффективности регулировочных мероприятий в условиях насыщения дорог поездопотоками. Вестник ВНИИЖТ., М., 1984. - С.5-8.
10. *Сотников Е.А., Холодняк П.С.* Рациональная технология временной отстановки поездов от движения. Вестник ВНИИЖТ., М., 2019. - С.3-9.