- диспетчер грузополучателя имеет возможность ввода данных об отправлении порожних вагонов, т.к. встречный поток информации о движении порожних вагонов зарождается на станции назначения. Данные через Web-приложение записываются в базу данных системы на сервер БД. При этом, на основании нормативов времени хода, вычисляется прогноз прибытия порожних вагонов на станцию грузоотправителя;

- диспетчер ГДСК и диспетчер грузополучателя имеют возможность просмотра данных плановых показателей и прогноза прибытия груженых вагонов на станцию грузополучателя, что, в свою очередь, позволяет осуществлять согласованную диспетчеризацию вагонопотока с целью соблюдения плана перевозки и исключения дефицита порожних вагонов на станции погрузки;

- диспетчер грузополучателя имеет возможность ввода данных о прибытии груженых вагонов на станцию назначения, передаче их на подъездной путь и выгрузке груза.

Диспетчер грузополучателя и диспетчер ГДСК могут одновременно просматривать накопленную информацию, что в свою очередь позволит осуществлять согласованную диспетчеризацию наполнения резервуаров с целью обеспечения плана развоза груза по месторождениям и исключения дефицита емкости временного хранения на станции выгрузки;

- диспетчер ГДСК имеет возможность осуществлять ввод и корректировку данных календарного плана развоза груза на месторождения;

- диспетчер грузополучателя имеет возможность регистрировать в системе факты погрузки груза на автотранспорт для развоза по месторождениям;

- данные о погрузке на автотранспорт, одновременно доступные диспетчеру ГДСК и диспетчеру грузополучателя, позволяют осуществлять согласованную диспетчеризацию погрузки и дефицита автотранспорта для развоза груза на целевые месторождения. Фактические данные по суточному развозу груза по рудникам на месторождениях вводит диспетчер АТП.

Вывод. Исходя из представленного, ожидаемым результатом функционирования представленной системы является организация равномерной доставки грузов по железной дороге и ускорение оборота подвижного состава.

ДОРОЖНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.8:621.28

Бибанов Женис Рахимович - к.т.н., профессор (Алматы, КазАТК)
Какешова Айнура Женисовна – сотрудник Технического комитета ТК-65 по стандартизации «Автомобильный транспорт» (Алматы, КазАТК)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ И ПАРАДОКС БРАЕССА

В 1969 году немецкий математик Дитрих Браесс открыл парадокс, суть которого сводится к тому, что добавление дополнительных возможностей (участков, каналов) к сети (транспортной, информационной и т.п.) при независимом («эгоистическом») распределении нагрузки (потока) на ее элементы (участки трассы, узлы) может в некоторых случаях уменьшить (а не увеличить, как предполагалось) эффективность ее работы, поскольку равновесие такой измененной сети необязательно оптимальное.

Приведем описание данного парадокса применительно к транспортной сети. Рассмотрим две точки Н и К (рисунок 1), между которыми есть два пути, проходящие через точки А и В, пропускная способность трассы Н-А равна 100 авто/мин и равна пропускной способности трассы В-К.

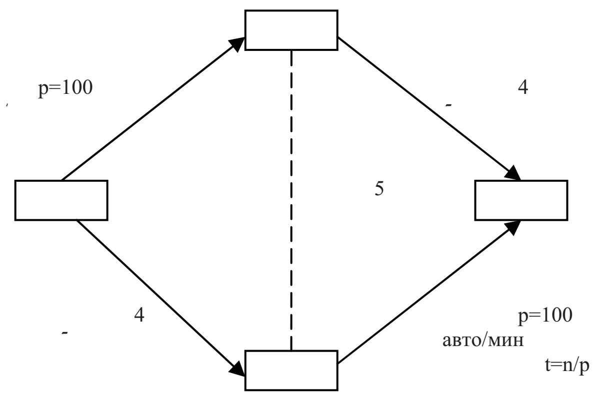

Рисунок 1 – Схема транспортной сети

Время, затрачиваемое автомобилями на прохождение этих трасс, равно *n*/*p,* где *n* – количество автомобилей, проходящих по трассе, а *p* – пропускная способность трассы. Пропускная способность трасс А-К и Н-В не зависит от количества автомобилей (очень мощные трассы), и среднее время прохождения автомобилей по ним равно 45 мин.

Предположим, что 4000 автомобилей стремятся попасть из точки Н в точку К, каждый из них выбирает для себя наиболее оптимальный путь. В силу симметричности ситуации половина автомобилей (2000) выберет путь Н-А-К, а другая половина – путь Н-В-К. Время, затрачиваемое ими на прохождение того и другого пути, равно 65 мин (2000/100 + 45 или 45 + 2000/100).

А теперь представим, что для сокращения этого времени, открыта между точками А и В дополнительная мощная односторонняя трасса (пунктирная линия на рисунке 1), время прохождения которой составляет всего 5 мин. Поскольку существующие трассы не закрываются, то у водителей, теоретически, появляется дополнительный выбор. Но вот парадокс: в этой ситуации все водители выбирают путь Н-А-В-К, поскольку в своей начальной части (Н-А) он составляет всего 40 мин даже в самом худшем варианте (когда все 4000 автомобилей устремляются по нему), тогда как путь Н-В-45 мин. Далее выбора практически нет, поскольку на путь А-В затрачивается 5 мин, а на путь В-К – опять же в самом худшем варианте – 40 мин. Разумеется, все надеются на лучший вариант (поскольку на путь А-К также затрачивается 45 мин, и есть надежда, что какие-то автомобили выберут его), когда хотя бы один автомобиль выберет продолжение А-К. В результате все выбирают путь А-В-К, и общее время прохождения пути Н-А-В-К составляет 85 мин. (4000/100 + 5 + 4000/100). То есть общее время прохождения пути между точками А и В увеличивается на 20 мин, хотя, казалось бы, новая трасса была открыта именно для снижения этого времени.

Но самое парадоксальное в данной ситуации в том, что сократить это время можно только одним способом – закрыв вновь открытую трассу А-В, вернуться к старой структуре транспортной сети. К примеру, если разделить автомобили на два потока и направить половину из них по пути Н-А-В-К, а другую половину – по пути Н-В-К, то ситуация улучшится ненамного, поскольку на прохождение первого затрачивается 65 мин, а на прохождение второго – 85 мин. В среднем получается (65 + 85)/2 = 75 мин. Казалось бы, на первый путь должно затрачиваться всего 45 мин (2000/100 + 5 + 2000/100), а на второй – 65 мин (45 + 2000/100), но здесь не учитывается то, что трасса В-К в этом случае является общей для обоих потоков автомобилей, почему на первый путь и затрачивалось 65 мин (2000/100 + 50 + 2000/100), а второй – 85 мин (45 + 4000/100). То же самое получается, если все автомобили следуют сначала по трассе Н-А, а в точке А разделяются на два равных потока, один из которых следует по пути А-К, а другой – по пути А-В-К.

Попытаемся объяснить появление парадокса Браесса: после ввода дополнительной (вроде разгружающей сети) трассы А-В появляется возможность для каждого автомобиля проехать по трассе Н-А-В-К, что увеличивает нагрузку на участках Н-А и В-К этой трассы, которые имеют ограничения возможности (пропускные способности) и увеличивают суммарное время их проезда по ним. Тем самым участки Н-А и В-К трассы Н-А-В-К (их ограниченная пропускная способность при свободном выборе пути) являются причиной возникновения парадокса Браесса, т.е. общим условием парадокса Браесса является:

- рост вероятности выбора проезда по трассе Н-А-В-К;

- время проезда транспортных средств по новой сети (Н-А-В-К) равно или больше, чем среднее время проезда по первоначальной сети по трассам Н-А-К и Н-В-К.

$$t_{(H-A-K)} + t_{(H-B-K)} \geq t_{(H-A-B-K)}, \tag{1}$$

где $t_{(H-A-K)}$), $t_{(H-B-K)}$ – среднее время проезда соответственно по трассам Н-А-К и Н-В-К, ч;

$t_{(H-A-B-K)}$ - среднее время проезда по новой сети (трассе) Н-А-В-К, ч.

Решение данного парадокса уже названо [1,2,3] – это удаление дополнительного элемента (А-В) сети и возвращение к ее прежней структуре, что является тривиальным. Например, в Сеуле после удаления автомобильной трассы как часть проекта восстановления ручья Чонгечон стала видна неэффективность кольцевой дороги вокруг города, в Штутгарте после инвестиции в дорожную сеть ситуация на дорогах не улучшилась, пока не была закрыта для движения вновь проложенная дорога. В США закрытие 42-ой авеню в Нью-Йорке уменьшило перегрузку на дорогах в штате.

Второй путь решения данного парадокса – в управлении (регулировании) транспортных потоков в сети (т.е. регулирование вероятностей выбора пути (трассы)). К этому пути можно отнести: ввод централизованного управления транспортными потоками в сети и введение «платы» за проезд элементов (трасс), что автоматически регулирует интенсивность проходящих через них потоки.

Еще один путь – увеличение пропускной способности участков (трасс) сети, т.е. снижение среднего времени проезда по участкам сети.

В общем случае, решение парадокса Браесса состоит в удалении причин возникновения данного парадокса, во-первых, необходимо уменьшить время проезда автомобиля по новой трассе менее первоначальной, во-вторых, необходимо оптимальное распределение транспортного потока на сети.

Необходимо решить более сложную, нерешенную задачу: анализ существующих сетей на наличие парадокса Браесса и удаление парадоксального элемента сети, найти алгоритм, позволяющий однозначно устанавливать указанный элемент, т.е. оптимальную конфигурацию сети.

В современных условиях, когда во многих крупных городах мира происходит транспортный коллапс, необходимо оптимизировать транспортную сеть (удаление парадокса Браесса, увеличение пропускной способности трасс, регулирование транспортных потоков в сети и, в конечном счете, снижение среднего времени проезда по участкам сети) этих городов и для этого предлагается алгоритм оптимизации подобных сетей.

1. Выделить элементарный транспортный участок (сеть), который должен содержать начальные и конечные пункты (Н, К), соединенные между собой несколькими трассами (min=2),на этих трассах могут быть расположены промежуточные пункты (А, В) (min=2), имеющие входящие потоки транспортных средств, которые могут разделяться на несколько потоков (min=2).

2. Определить поток (интенсивность) транспорта в начальном пункте (А), где вероятность проезда через пункт (А) (Р(Н)=1).

3. Определить время проезда автомобиля по трассам (Н-А, Н-В,…), т.е. по всем трассам от пункта (Н) до конечного пункта (К)

$$t_i = \frac{L_i}{Vcp_i}, \qquad (2)$$

где L_i – длина i трассы, км;

V_{cpi} – средняя скорость движения автомобилей по i-ой трассе, км/ч;

t_i - время проезда по i-ой трассе, ч.

4. Определить вероятность выбора проезда по i-ой трассе

$$P_i = \frac{t_i}{t_0}, \qquad (3)$$

где t_0 – время проезда по трассе от начального пункта до конечного, ч.

Вероятность выбора пути зависит от среднего времени проезда по трассе. Допустим, что поток автомобилей (*no*) в начальном пункте элементарной сети может проехать по трем трассам 1, 2 и 3 с начального пункта 0, среднее время проезда по этим трем трассам, соответственно, равны t_1, t_2 и t_3 (суммарное время - $\sum t = t_1 + t_2 + t_3$), тогда поток автомобилей по трассам 1, 2 и 3 распределится с вероятностью:

$$\text{P1}=\frac{t_1}{\Sigma t}, \ \text{P2} = \frac{t_2}{\Sigma t} \text{ и P3} = \frac{t_3}{\Sigma t} \qquad (4)$$

Общая вероятность выбора пути в начальном пункте $P_0 = P_1 + P_2 + P_3$ =1,0 и число автомобилей проезжающих по трассам 1,2 и 3 равно $n_1 = P_1 n_0$; $n_2 = P_2 n_0$; $n_3 = P_3 n_0$ и $n_0 = n_1 + n_2 + n_3$.

5. Определить количество автомобилей, проезжающих по всем трассам,

$$n_i = n_0 \cdot P_i, \qquad (5)$$

где n_0 – количество автомобилей, проезжающих через начальный пункт, ед.

6. Определить среднее время проезда по трассам с учетом интенсивности транспортного потока и пропускной способности трассы $t_i = \frac{n_i}{p_i}$, при росте интенсивности движения автомобилей среднее время проезда увеличивается соответственно.

7. Необходимо найти транспортные потоки при различных вероятностях выбора пути (трассы), затем определить среднее время проезда трассы (участка) при различных значениях вероятности выбора пути для всех трасс и вариантов последовательности их проезда. Выявить вариант проезда трасс с минимальным средним временем проезда, что и является оптимальным путем проезда. Повторить такие расчеты для всех значений

интенсивности транспортного потока, что определяет оптимальные схемы проезда трасс при различных интенсивностях движения автомобилей.

8. Определить условия возникновения парадокса Браесса, т.е. найти участки трасс с недостаточной пропускной способностью, где среднее время проезда по ним больше, чем по остальным участкам (трассам) (провести сопоставление значений среднего времени проезда по всем трассам (участкам) элементарной сети).

9. Выбрав приоритетную схему элементарной сети с указанием трасс (участков) с минимальным средним временем проезда и максимальной пропускной способностью, т.е. определить оптимальную сеть при различных интенсивностях движения транспорта.

10. Перейти к анализу следующей элементарной сети и таким образом проанализировать всю транспортную сеть города.

Алгоритм оптимизации транспортной сети города позволяет выявить напряженные трассы (участки), выявить наличие парадокса Браесса при вводе в эксплуатацию новых трасс, транспортных развязок, мостов и переездов, что снижает время проезда трасс, появления заторов, оптимизирует пропускную способность улично-дорожной сети города.

Выводы:

1. Причинами появления парадокса Браесса на сети являются участки (трассы) с ограниченными пропускными способностями (значительными величинами среднего времени проезда) и неоптимальное (неуправляемое) распределение транспортных потоков по участкам сети.

2. Снижение среднего времени проезда участка (трассы) сети и оптимальное распределение автомобилей по сети являются условиями удаления парадокса Браесса

3. Предложенный алгоритм, позволяет оптимизировать сеть и получить оптимальное распределение транспортных потоков, что в итоге уменьшает среднее время проезда по сети и снижает опасность транспортного коллапса.

4. Алгоритм позволяет не только оптимизировать транспортную сеть, но и выявить участки (трассы) сети, где необходим ввод централизованного управления транспортными потоками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парадокс Браесса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://de.wikipedia.ong/wiki/Braess.2008.

2. Лившиц В.Е. Теория игр. – М.: Академия, 2010. – 223 с.

3. Транспортный коллапс и GPS (Глонасс). Обзор транспортных проблем. – М.: Наука, 2010. – 64 с.