

РАВНОВЕСНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА НА СЕТИ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ ДЛЯ ЭСКИЗНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Lebedeva O.A.

TRANSPORT PLANNING FOR LAND-USE INTEGRATION AND DEMAND ASSESSMENT

Аннотация. В статье приводится алгоритм равновесного выравнивания дорожного движения, который может быть использован для эскизного планирования. Подробно рассмотрены концепция равновесия и процедуры сетевого кодирования. Сделан вывод о необходимости соответствия подходов с целями стратегического планирования.

Ключевые слова: равновесное распределение, транспорт, поток, эскизное планирование.

Abstract. The article provides an algorithm for equilibrium traffic alignment, which can be used for sketch planning. The concept of equilibrium and network coding procedures are discussed in detail. It is concluded that the approaches need to be consistent with the goals of strategic planning.

Keywords: equilibrium distribution, transport, flow, sketch planning.

Рассмотрим применение равновесного распределения потока для эскизного планирования. Поездки в сети назначаются с ограниченным количеством путей, узлов и центроид зон. Одно магистральное звено в сети эскизного планирования эквивалентно нескольким звеньям в условно закодированной региональной сети автомобильных дорог, а одна зона эскизного планирования существенно больше, чем региональная зона в том же месте. Алгоритм распределения потока сводится к примерно равному времени прохождения пути для нескольких маршрутов между парами зон.

Концепция равновесия была впервые сформулирована для распределения потока по минимальному временному пути Уордропом (формула (1)). Учитывая, что время в пути по сети увеличивается с потоком, сеть автомагистралей находится в равновесии, если время по всем путям, используемым между каждым пунктом отправления-назначения, одинаково, и ни один из неиспользуемых путей не имеет меньшего времени (ни у одного водителя нет заинтересованности в изменении маршрута).

Матрицу равновесного распределения потока можно найти путем вычисления задачи нелинейного математического программирования. Решением задачи является набор транспортных потоков по сети, который минимизирует нелинейную выпуклую математическую функцию (целевую), ее значение зависит от интенсивности потоков. Эти потоки также должны удовлетворять второму набору линейных уравнений, называемых ограничениями. В общих чертах, ограничения на целевую функцию гарантируют, что все решения являются вы-

полными, то есть все назначаемые пути сети имеются, а отрицательные потоки запрещены. Целевая функция состоит в том, чтобы минимизировать сумму площадей времени в пути и объема каждого звена от нуля до назначенного потока. Потоки связей, соответствующие минимальному значению целевой функции – это те, которые удовлетворяют условиям равновесия.

В начале 1970-х годов было разработано несколько алгоритмов для определения равновесных транспортных потоков, рассмотрим один из них.

Алгоритм решения задачи распределения равновесного потока основан на методе нелинейной оптимизации. Это итеративный подход, который начинается с начального допустимого решения, удовлетворяющего ограничениям, определяет возможное направление движения, улучшает целевую функцию, а затем вычисляет значения. В результате находится новое допустимое решение, и процедура повторяется до тех пор, пока целевую функцию возможно оптимизировать.

Сеть, состоящая из путей с функциями перегрузки, матрицы поездок для назначения и первого решения, которое представляет собой нахождение пути проезда. Условия равновесия обычно не соблюдаются при первой итерации. Применение метода включает в себя следующие шаги.

1. Расчет времени в пути по каждому звену, используя объемы интенсивности движения.

2. Построение минимальных деревьев пути во времени от каждого пункта отправления до всех пунктов назначения, используя время в пути по каждому звену, вычисленное на шаге 1.

4. Линейное объединение текущих объемов v_a и сгенерированные объемы путей w_a , для получения нового решения v'_a , которое минимизирует целевую функцию:

$$\sum_a \int_0^{v'_a} S_a(x) dx, \quad (1)$$

где v'_a – новый текущий объем по пути a ; $S_a(X)$ – функция перегрузки пути a ; константа λ от 0 до 1.

5. Если решение достигло оптимального значения, происходит остановка алгоритма, в противном случае возврат к шагу 1.

Последовательность шагов показана в блок-схеме на рисунке 1.

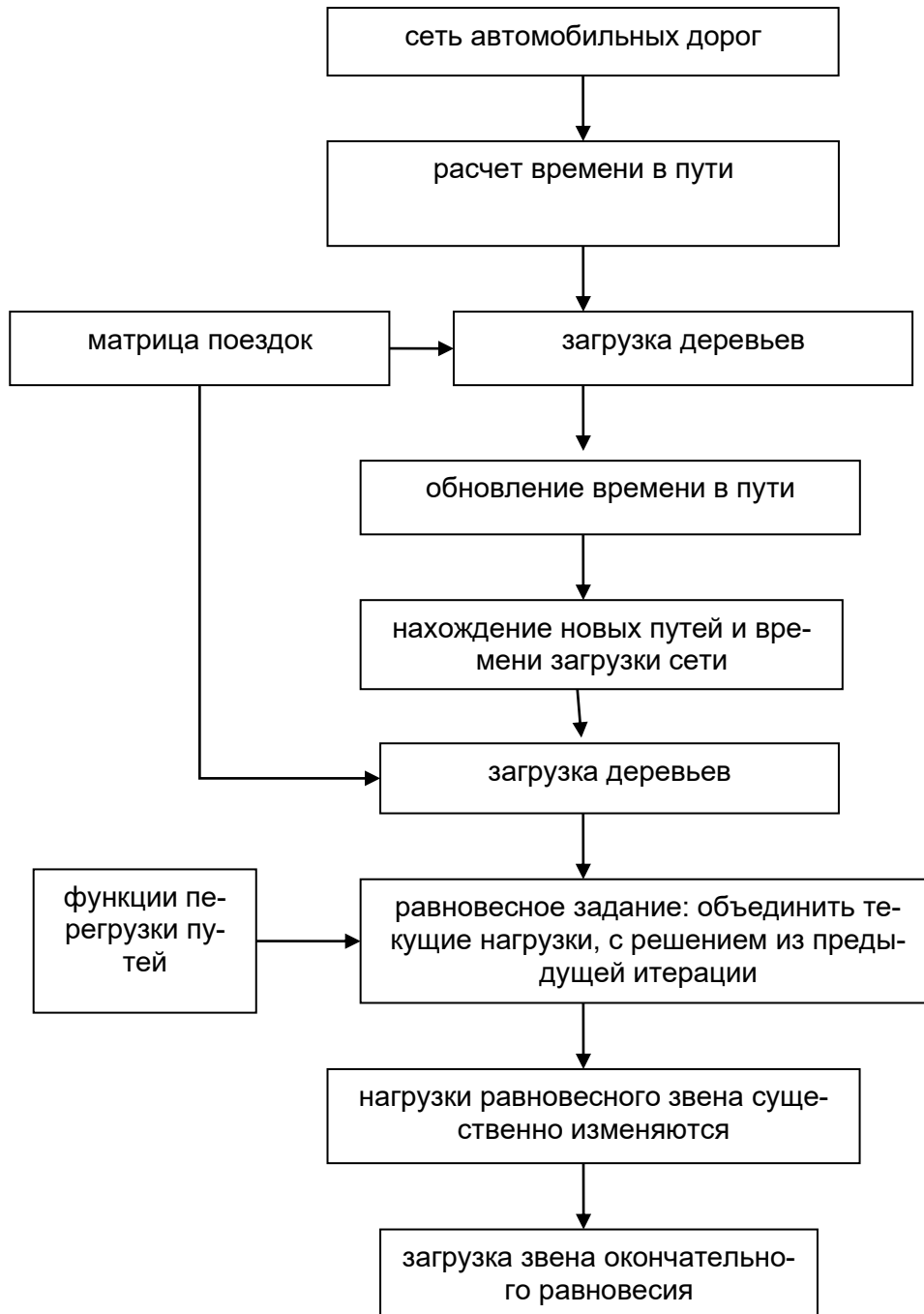


Рисунок 1 – Алгоритм равновесия [1]

Сложности применения равновесного распределения потока к эскизному планированию заключаются в том, как упростить сеть и зоны анализа, а также природу функции перегрузки времени в пути и объема потока для такой сети. Построение сети эскизного планирования происходило либо путем исключения второстепенных и малоиспользуемых путей, либо агрегированием в подробную сеть. Сеть эскизного планирования может сочетать два подхода и включать все соединения автострад и скоростных автомагистралей, а также сетку совокупных

соединений для магистральных улиц, что наглядно проиллюстрировано на рис. 1. Для распределения потока существует ряд соотношений времени и объема, когда кодированная сеть напоминает реальную сеть автомагистралей.

Наиболее часто используемой является формула:

$$T = T_0 \left[1 + 0,15 \left(\frac{v}{c} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где T_0 – незагруженное время в пути на линии (нулевой транспортный поток); T – расчетное время в пути; $\frac{v}{c}$ – отношение объема потока на пути к пропускной способности улицы.

В традиционно закодированной сети каждое звено представляет собой сегмент улицы или магистрали, атрибуты которого можно наблюдать. Такая сеть проиллюстрирована на рисунке 2. В закодированных сетях опущены детали (местные улицы и сельские дороги, используемые в основном для доступа к земле). Кодированная сеть, построенная из отдельных звеньев, отражает характеристики сетей автомобильных дорог.

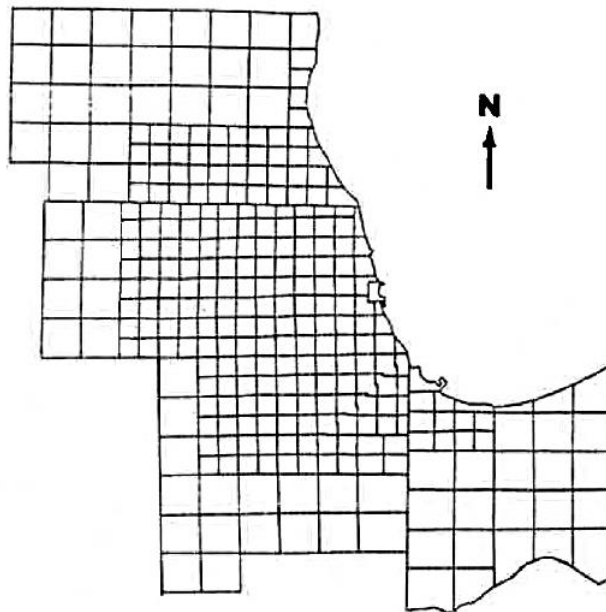


Рисунок 2 – Эскизно-планировочная зональная система [1]

Отношения времени и объема могут быть математически объединены для формирования совокупной функции перегрузки. К сводному пути можно применить общую функцию перегрузки, атрибутами которого являются совокупные количества. Дополнительные сложности при использовании назначения равновесия для эскизного планирования вызваны более крупными зонами анализа и соответствующей меньшей матрицей поездок. Для обычного региона ха-

рактерна матрица с тысячей или более зон. В приложении эскизного планирования можно использовать не более нескольких сотен зон. Чем больше поездок происходит внутри зоны, тем более крупные зоны используют при распределении потока. Меньшая матрица поездок приводит к увеличению значений, то есть в сети больше поездок в центроидах зон. Пути, прилегающие к центроидам, загружаются из большей зоны эскизного планирования. Эти пути имеют тенденцию переназначаться, что также влияет на время в пути, прогнозируемое функциями перегрузки. Задача загрузки большего количества путей в сеть эскизного планирования решается за счет выполнения определенного числа итераций алгоритмом равновесия.

Первый шаг в кодировании эскизно-планировочной сети – выбор системы зон. Используемая система зон разработана путем объединения региональных зон в подходящее количество площадных единиц. Каждая эскизно-планировочная зона обычно включает от четырех до девяти региональных зон. Полученная система зон охватывает регионы. Зоны покрыты сетью двусторонних магистралей и автострад. Центроиды каждой зоны расположены в центре зоны и соединены двумя-четырьмя магистральными уличными связями, образуя довольно регулярную региональную сеть. Связи с автомагистралями и скоростными автомагистралями затем кодируются поверх регулярной сетки магистральных улиц, при этом развязки размещаются примерно в местах их фактического расположения (рисунок 3).

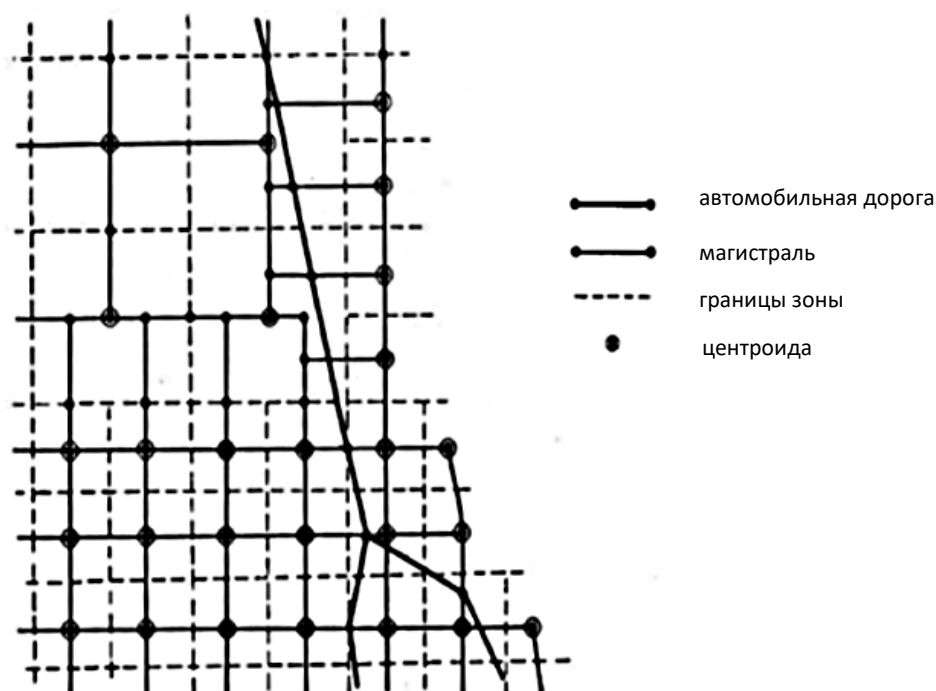


Рисунок 3 – Пример эскизно-планировочного сетевого кодирования [1]

Пути кодируются как магистрали или автострады (скоростные дороги). Атрибуты, закодированные для каждого пути эскизного планирования, включают номера конечных узлов, длину пути, тип региона, где находится пункт отправления, скорость и пропускную способность. Тип территории, на которой расположен путь, кодируется с использованием муниципальных границ и численности населения зон. Скорость оценивается для каждого пути.

Несмотря на ограниченный характер структуры зон и геометрии сети, можно сделать общие выводы относительно характеристик равновесного распределения потока с использованием более крупных зон и простого сетевого кодирования. Итогом стало то, что внутризональные поездки существенно не повлияли на результаты решения. Методология эскизного планирования представляется наиболее применимой для долгосрочного системного и стратегического планирования, которое может взаимодействовать с резкими изменениями в характеристиках транспортного предложения или спроса. Уровень проекта в планировании транспортных коридоров всегда требует более детального сетевого кодирования и меньших зон анализа. Долгосрочное системное планирование концентрируется на прогнозируемом потоке или оценке региональных сетей с различными комбинациями инвестиций в новые крупные автомагистрали и транзит. К сожалению, количество исследуемых вариантов часто ограничено из-за ресурсов, необходимых для поддержки традиционных процедур прогнозирования. Менее затратные подходы, такие как методы эскизного планирования, позволят протестировать больше вариантов и при этом обеспечить разумные оценки потоков на основных объектах автомагистралей.

В планировании внимание уделяется общим инвестиционным стратегиям в сфере транспорта для энергетических, демографических, социальных и экономических ресурсов. Подходы к эскизному кодированию наиболее оптимально соответствуют целям стратегического планирования, поскольку можно разработать больше вариантов с учетом достаточного количества деталей для точного прогнозирования транспортных воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Eash, R. W.** Equilibrium traffic assignment on an aggregated highway network for sketch planning / R. W. Eash, K. S. Chon, Y. J. Lee, D. E. Boyce // *Transportation Research*. – Vol. 944. – 1983. – pp. 30-37.