## Лучшее враг хорошего

Наконец, говоря об очередях, нельзя не упомянуть о совершенно возмутительном парадоксе Браесса. Этот эффект приводит к тому, что в коммуникационной сети, содержащей очереди, добавление новых простых связей (не стохастических) может привести к уменьшению пропускной способности всей сети.

Простейшей моделью, в которой можно наблюдать этот эффект, может быть дорожная сеть, в которой два населённых пункта и соединены двумя дорогами так, как показано на рисунке. При этом выделяются четыре участка дорог, два из которых и – достаточно широки и свободны, так что среднее время пути по ним занимает известное постоянное время . Два других плеча – и короче, но имеют склонность к образованию заторов. Дорожный поток и дорожная пробка во многом похожи на очередь и для них тоже работает теорема Литтла, позволяющая связать время пути по загруженному (или узкому) участку дороги с числом машин на дороге. Таким образом, для загруженных участков время пути можно считать пропорциональным числу участников дорожного движения: . И последнее важное условие, пассажиропоток между городами таков, что: , то есть, затруднённые участки дорог, всё же,

Тут мы вынуждены сделать одно предположение, которое выходит за рамки темы книжки. Оно касается того, как люди принимают решения. Это тоже можно описывать математически с помощью методов теории игр, области знания, которое получило широкое развитие в последние десятилетия. Здесь я не хочу вдаваться в подробности этой теории, а сразу воспользуюсь одним из её результатов – понятием равновесия Нэша. Поведение людей во многих случаях можно считать оптимизирующим, они пытаются уменьшить потери и увеличить свои преимущества, но во взаимодействии с такими же оптимизирующими игроками, группа игроков может нащупать некое равновесное состояние, не самое лучшее, но хотя бы удовлетворительное. Применительно к нашим дорогам, приход к равновесию Нэша выразится в том, что водители будут стремиться к тому, чтобы распределиться по обоим плечам дорог и поровну. Так что, если обычно из города в город ездит автомобилистов, то время в пути можно выразить как .

Пусть теперь, стремясь оптимизировать движение в этой сети, мы построим связку , причем постараемся сделать её как можно шире и лучше, чтобы время на её преодоление было существенно меньше, чем или . Воспользовавшись ею, автомобилист сможет попасть из пункта в пункт за время порядка (двигаясь по пути ), либо (в случае пути ). Но, правда, только при условии, что он будет на дороге один. Проблема в том, что только все прознают о новой дороге, то, естественно, постараются пользоваться только ею. И вот к чему это приведёт: в равновесии Нэша какая-то часть публики предпочтёт путь , как более короткий, так что мы должны получить следующие характерные времена:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Подвох состоит в том, что все эти времена превысят прежний средний результат , для любого . То есть, ни по одному из этих путей не удастся добраться из города в город , быстрее, чем до строительства новой скоростной дороги. Если водители каким-то усилием воли распределятся по обеим дорогам поровну, то всё вернётся к первоначальному состоянию, но тогда, выходит, не было смысла строить новую связку.

У этого парадокса есть изящная физическая модель, которая позволяет убедиться в его реальности экспериментально, она была описана в журнале Nature в 1991 году[[1]](#footnote-1). Закон Литтла – говорит о прямой пропорциональности между длиной очереди и временем ожидания. В природе много явлений, параметры которых связаны подобным законом и среди них, знакомый со школы закон Гука. Он гласит, что растяжение пружины пропорционально прилагаемой к ней силе:

1. J. E. Cohen and P. Horowitz. Paradoxical behavior of mechanical and electrical networks. Nature, 352:699–701, 1991 [↑](#footnote-ref-1)