

Студ. Е.И. Барташевич  
Науч. рук. доц. Р.О. Короленя  
(кафедра информатики и веб-дизайна, БГТУ)

## **УЧЕТ ПАРАДОКСА БРАЕСА ПРИ МАРШРУТИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ДРЕВЕСИНЫ**

Сортиментная технология лесозаготовок позволяет осуществлять доставку лесоматериалов непосредственно конечному потребителю («во двор потребителя»). Перевозка древесины потребителям при этом может осуществляться с использованием различных вариантов организации работы сортиментовозов на маршрутах [1]. При этом, основные объемы древесины перевозятся по дорогам общего пользования, в связи с чем, проблемы с которыми сталкиваются при маршрутизации перевозок, включают в себя и перечень трудностей, возникающих на самих дорогах общего пользования в процессе передвижения по ним.

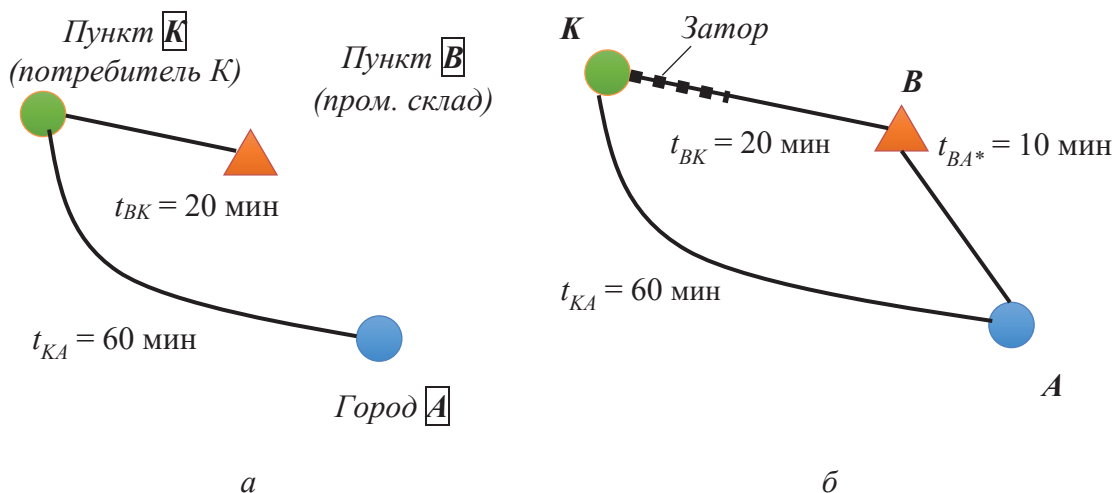
На сегодняшний день одной из актуальных транспортных проблем является снижение производительности сети дорог общего пользования и увеличение среднего времени корреспонденций. Наблюдаемая тенденция обусловлена рядом причин, таких как: рост уровня автомобилизации населения; увеличение интенсивности использования индивидуально транспорта; снижение эффективности городского пассажирского транспорта; увеличение потребности жителей города в перемещениях; диспропорция между уровнем автомобилизации и темпами дорожного строительства и др. [2]. Решение данной транспортной проблемы имеет ключевое значение как для развития современных городов, так и для планирования оптимальных маршрутов перевозок древесины.

Логичное решение о создании дополнительных дорог с целью уменьшения нагрузок на сложившуюся дорожную сеть на практике приводит к диаметрально противоположному исходу.

Впервые вопрос об этом явлении был поднят немецким математиком Дитрихом Браесом в статье 1968 года, согласно которой, добавление дополнительных мощностей в сеть при условии, что двигающиеся по сети объекты сами выбирают свой маршрут, может снизить общую производительность. Это явление получило название парадокса Браеса. [3]

Рассмотрим на примере явление парадокса Браеса при планировании перевозок древесины с промежуточного склада потребителям по дорогам общего пользования (Рис. 1).

Предположим, что в пункте **В** расположен промежуточный лесопромышленный склад в непосредственной близости к участку дороги общего пользования. Время на преодоление участка от промежуточного склада в пункте **В** до потребителей, находящихся в пункте **К** (населенный пункт, город), составляет  $t_{BK} = 20$  мин.



**Рисунок 1 – Расчетные модели:**

- а** – схематическая модель транспортной системы до введения новой дороги;
- б** – схематическая модель транспортной системы после введения новой дороги

Ориентировочная продолжительность проезда из пункта **К** в пункт **А** (город, населенный пункт) составляет  $t_{KA} = 1$  час. Из промежуточного склада до потребителей в пункте **А** можно добраться только через город **К**, при этом, учитывая время на преодоление участка **ВК**, получим:  $t_{BA} = t_{KA} + t_{BK} = 60 + 20 = 80$  мин. (Рис. 1, а).

В целях уменьшения времени, затрачиваемого на проезд между пунктами **В** и **А**, и, следовательно, между лесопромышленным складом в пункте **В** и потребителями города **А**, была построена дополнительная дорога, время передвижения по которой составило  $t_{BA^*} = 10$  минут (Рис. 1, б).

Каждый водитель с намерением быстрее добраться до пункта **К** из пункта **А** начал использовать новый участок **ВА**, предварительно сложив 10 минут до пункта **В** и 20 минут до пункта **К**, и получив время на дорогу  $t_{AK} = 30$  мин., что в  $60/30 = 2$  раза меньше, чем по первоначальному маршруту. Но будет ли верно это утверждение.

Время проезда с использованием новой дороги займет порядка 1 часа, так как 30 лишних минут водители простоят в транспортном заторе между пунктами **В** и **К**. При этом, затор будет эквивалентен 30 минутам. Если же затор будет значительно меньше, то еще большее количество водителей будут выбирать этот маршрут и в результате, он

все равно будет увеличиваться. Обратная ситуация так же невозможна, так как, если затор будет существенно больше – автомобилисты будут отдавать предпочтение первоначальной дороге, без проезда пункта **В**. Равновесное значение длины затора – это результат теоретико-игрового взаимодействия автомобилистов, которые принимают решение, куда ехать, в результате которого всегда будет затор ровно такой, чтобы сумма времени проезда была равной по обеим дорогам. Так проявляется 1-й принцип Вардропы: «Время путешествия по всем используемым маршрутам одинаково и меньше времени, которое потребовалось бы одному транспортному средству для поездки по любому из неиспользуемых маршрутов» [4].

В конечном итоге мы получаем, что для всех водителей, желающих добраться из города **К** в город **А**, время на передвижение останется приблизительно тем же:  $t_{КА} = 1$  час. В то время как перевозка древесины с промежуточного склада **В** до потребителей **К** вместо ранее затрачиваемых 20 минут составит:  $t_{ВК} = 20 + 30 = 50$  мин., с учетом возникающего тридцатиминутного затора.

Таким образом, введение дополнительной дороги не только не дало положительного эффекта для дорожной обстановки, но и дополнительно существенно ухудшило ситуацию на отдельных ее участках, и тем самым увеличило время перевозки древесины. Это и есть один из примеров явления парадокса Браесса, который, на наш взгляд, необходимо учитывать при планировании работы сортиментовозов при перевозках древесины на дорогах общего пользования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Короленя Р. О. Показатели работы сортиментовозов при различных схемах организации перевозки древесины / Р. О. Короленя, Е. И. Барташевич // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 17 февраля 2023 года. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 99-101.

2. Бирюков В.К. Проблемы транспортных систем городов и возможные пути их решения / В.К. Бирюков, А.В. Власов, К.Н. Демченко //Международный научно-исследовательский журнал.– 2015. – №2 (33).

3. Braess D. Uber ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung // Unternehmensforsch. – 1968. – V. 12. – № 1. – P. 258–268.

4. Макконелл Дж. Основы современных алгоритмов // Учебное пособие по направлению подготовки специалистов «Информатика и вычислительная техника»/Перевод с английского под ред. С.К. Ландо, 2-е изд-е, дополненное – М.: Техносфера, 2004. – 366 с.