



Теория транспортных процессов и систем

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Транспортные системы в современном мире

Продукция транспорта имеет следующие особенности:

Материальный характер транспортной продукции заключается в изменении пространственного положения перевозимых товаров

На транспорте процесс производства и процесс потребления продукции не разделены во времени, продукция транспорта потребляется как полезный эффект, а не вещь.

Транспортную продукцию нельзя накопить впрок, повышение спроса на перевозки потребует использования дополнительных перевозных возможностей

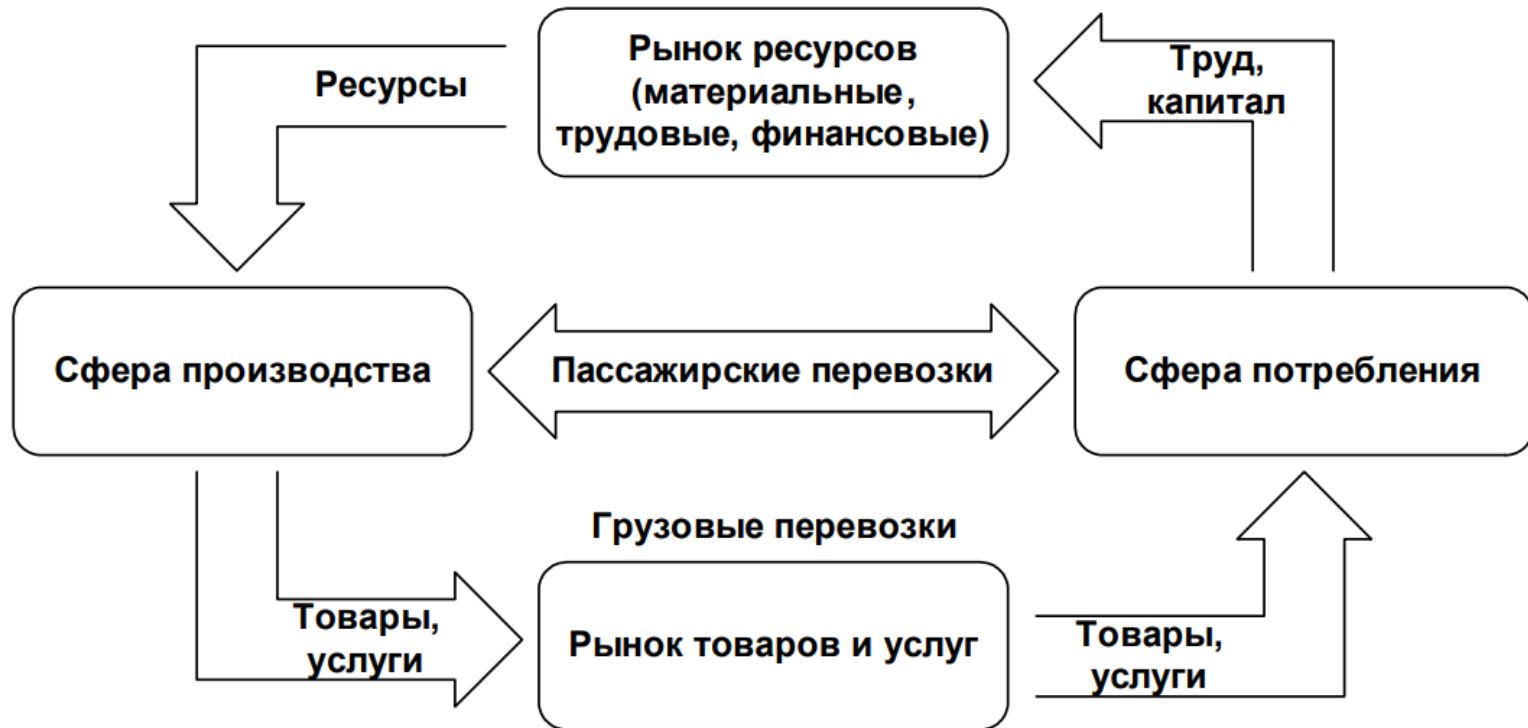
В процессе работы транспорта не создается новой продукции, а наоборот, этот процесс сопровождается потерей физических объемов грузов

Транспортная продукция вызывает дополнительные затраты в производящих отраслях, что влечет несовпадение интересов экономики в целом и транспортной отрасли

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Транспортные системы в современном мире

Взаимосвязи в сфере производства и потребления. Роль транспорта



ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Транспортные системы в современном мире

Основные показатели работы по видам транспорта

Вид транспорта	Перевозки грузов		Перевозки пассажиров	
	Объем, млн.т.	Грузооборот, млрд.ткм	Объем, млн.чел.	Пассажирооборот, млрд.пасс.км
Авиационный	1	4	50	120
Автомобильный	6900	220	12100	115
Внутренний водный	150	65	20	1
Городской электрический	-	-	8900	60
Железнодорожный	1300	2100	1300	180
Морской	35	85	2	-
Промышленный	3700	30	-	-
Трубопроводный	1100	2500	-	-

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Транспортные системы в современном мире

*Характеристики уровня
транспортного обслуживания*

```
graph TD; A[Характеристики уровня транспортного обслуживания] --> B[Объемные]; A --> C[Стоимостные]; A --> D[Качественные];
```

Объемные

Стоимостные

Качественные

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА – это образующая связанное целое совокупность работников, транспортных средств и оборудования, элементов транспортной инфраструктуры и инфраструктуры субъектов перевозки, включая систему управления, направленная на эффективное перемещение грузов и пассажиров.

ИНФРАСТРУКТУРА – это физические компоненты транспортной системы, которые занимают фиксированное положение в пространстве и создают транспортную сеть, включающую связи (сегменты автомобильных и железных дорог, трубопроводов и т. п.) и узлы (пересечения сегментов дорог, терминалы различного назначения и т. д.).

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

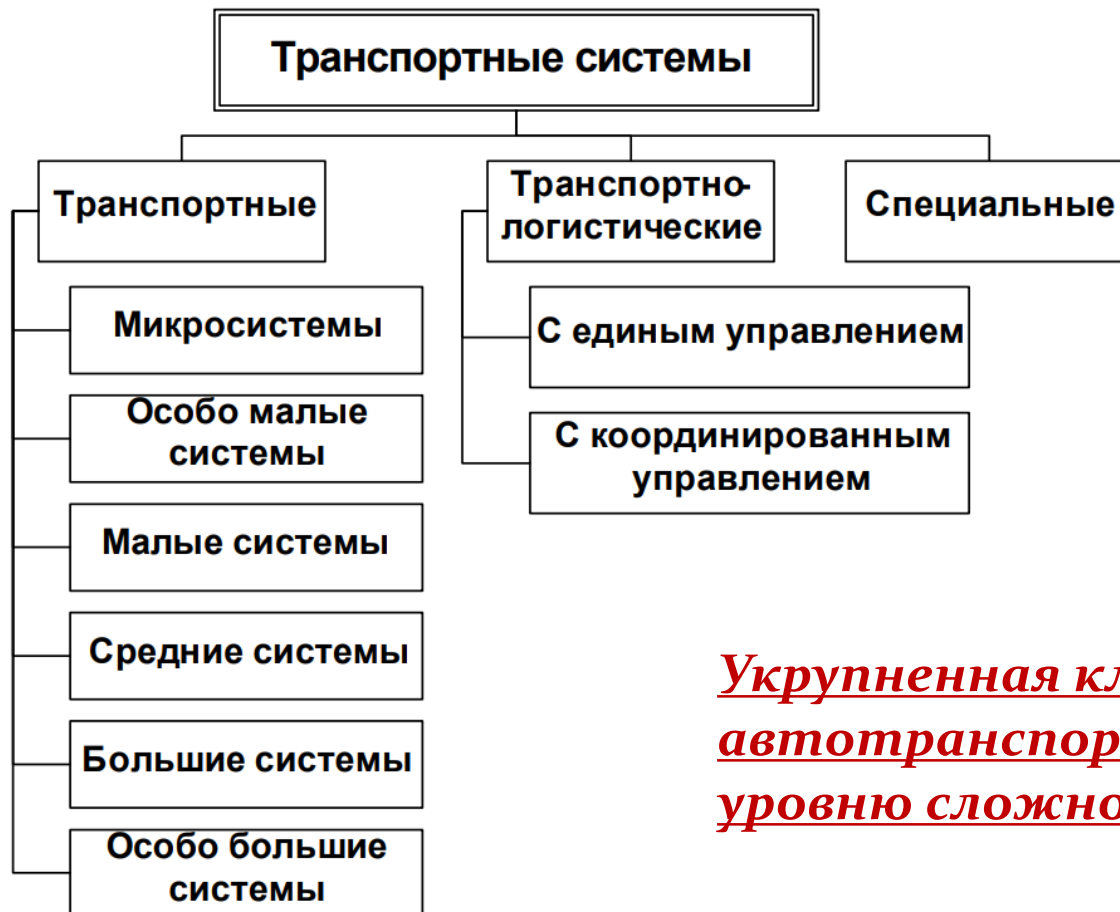
Перемещение *транспортных средств* по транспортной сети образует **ТРАНСПОРТНЫЕ ПОТОКИ.**

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ включает систему управления транспортными потоками и систему управления работой транспортных средств.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ не может рассматриваться только в рамках достижения оптимальности выполнения соответствующих процессов внутри системы. Основными задачами транспортной системы являются удовлетворение потребности экономики в перевозке грузов и обеспечение мобильности населения.

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем



Укрупненная классификация
автотранспортных систем по
уровню сложности

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

Типичные
варианты
организации
транспортного
процесса

Микросистема

Особо малая система

Малая система с челночным движением

Малая система с кольцевым движением

Малая система с развозом или сбором груза

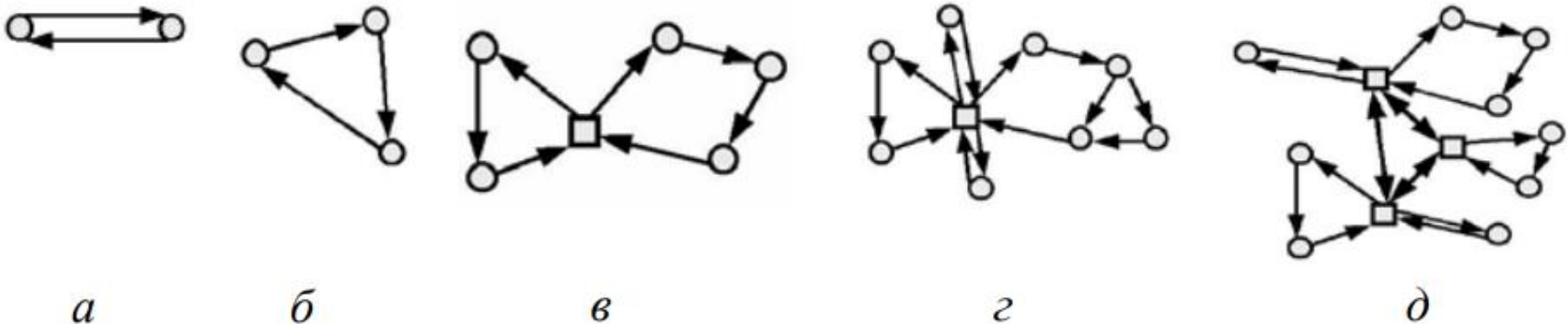
Средняя система

Большая система

Особо большая система

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем



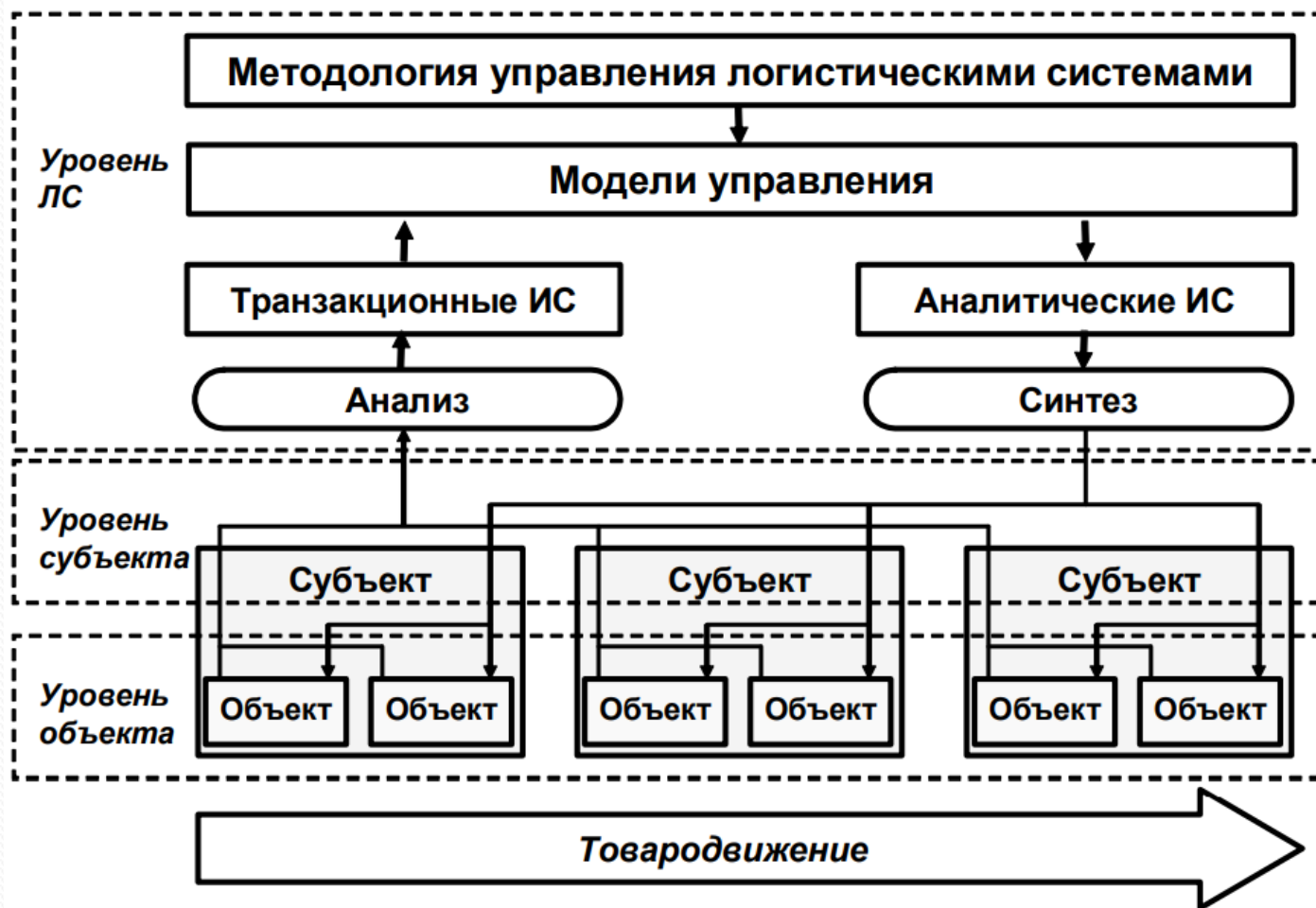
Примеры транспортных систем:

- а – челночное движение автомобилей в простейших вариантах организации транспортного процесса;
- б – кольцевое движение автомобилей;
- в – развоз или сбор груза;
- г – транспортный процесс обслуживания производственной структуры;
- д – транспортный процесс обслуживания нескольких производственных структур.

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

Обобщенная схема предметной области транспортно-логистической системы



ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

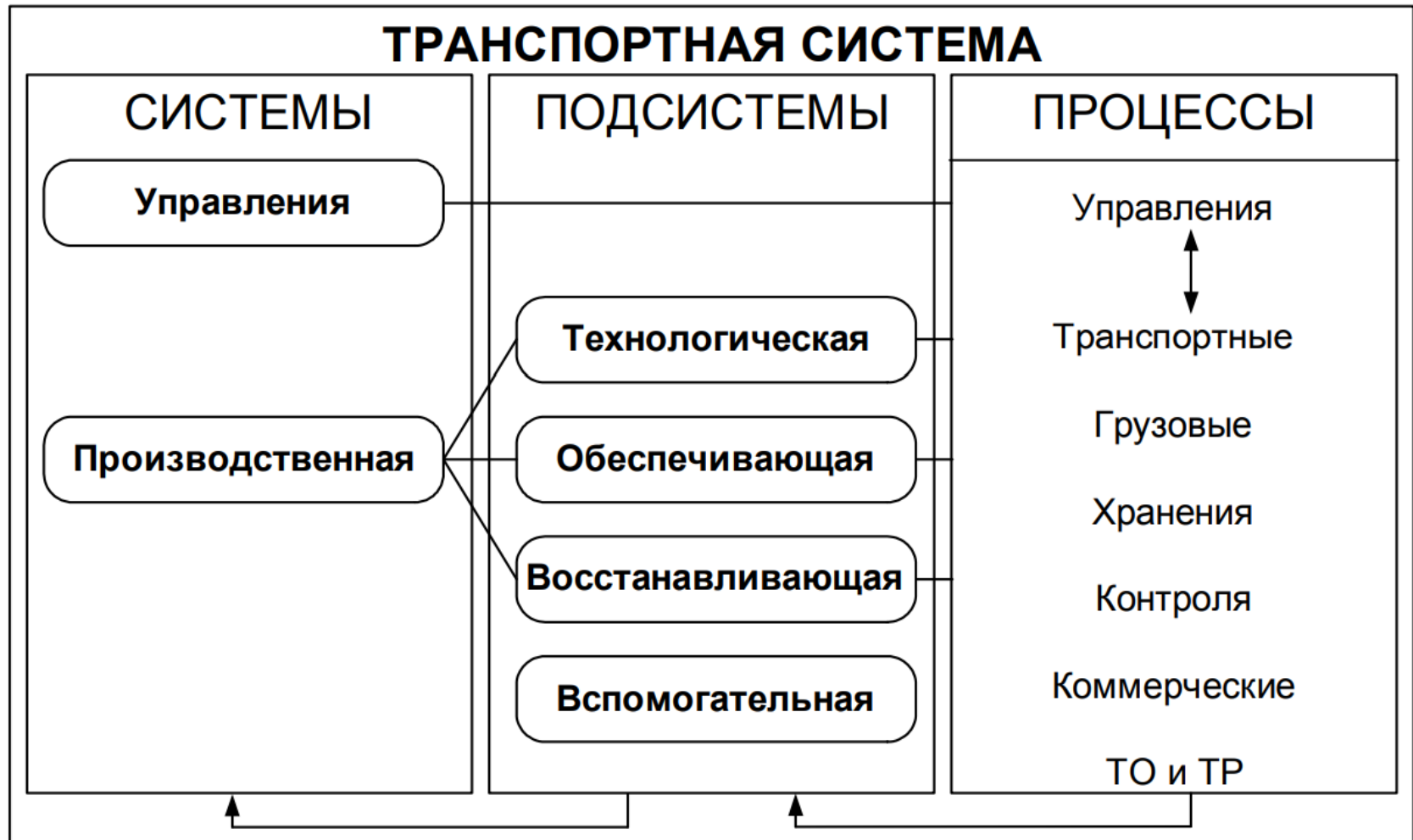
Особенности транспортных систем

ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (ТЛС) охватывают не только процесс перевозки. Они в целом решают процесс доставки грузов или пассажиров независимо от используемых видов транспорта, но с учетом необходимых объемов, сроков и качественных показателей доставки.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ предназначены для решения конкретных задач, которые возникают при необходимости перевозки особых грузов или организации транспортного сообщения в особых условиях. Примерами таких систем могут быть контейнерная транспортная система, система доставки пассажиров в аэропорт и т. п.

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем



ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

Взаимодействие транспортной системы крупного города с другими системами



ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

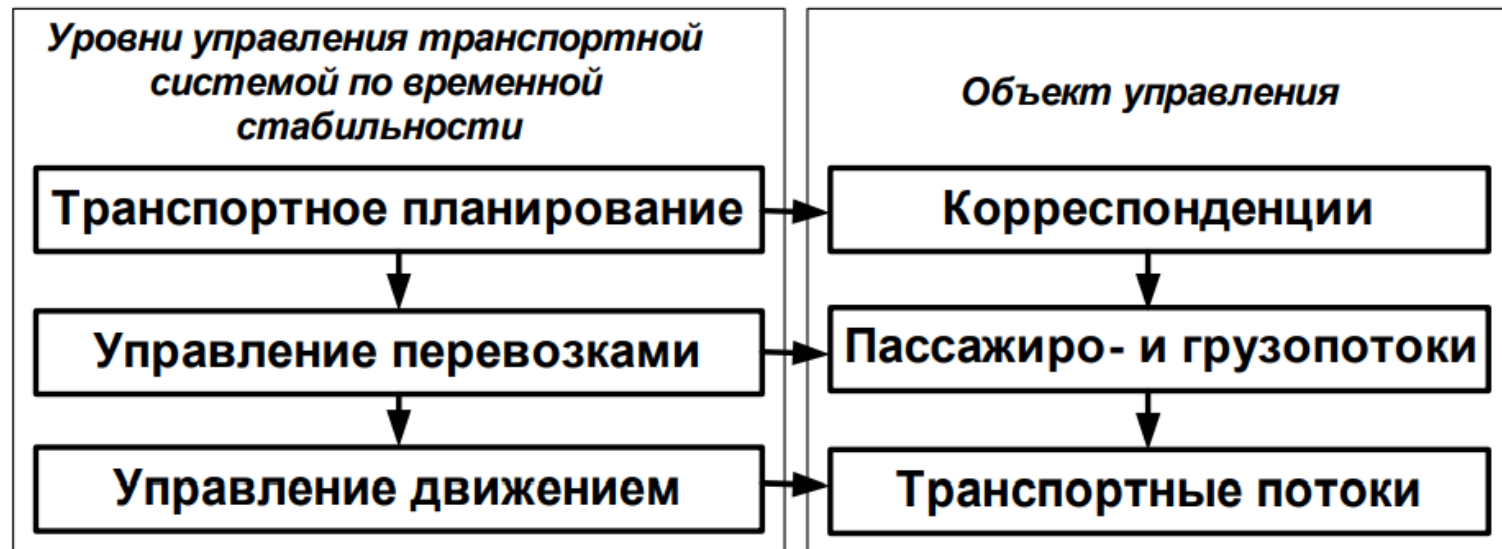
Транспортная система является уникальным примером системы с коллективным поведением ее субъектов. В связи с этим коллективное поведение является мощным фактором, формирующим закономерности функционирования транспортной системы. Причем процессы самоорганизации приводят к образованию нескольких уровней устойчивого функционирования системы, образующих иерархическую структуру коллективной адаптации с различной временной стабильностью. В этом плане можно выделить три следующих структурных уровня:

- распределение мест формирования, обработки и потребления грузов, расселение населения;
- организацию транспортных процессов в сети;
- формирование транспортных потоков на участках сети.

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Особенности транспортных систем

Уровни временной стабильности и соответствующие им объекты управления транспортной системы

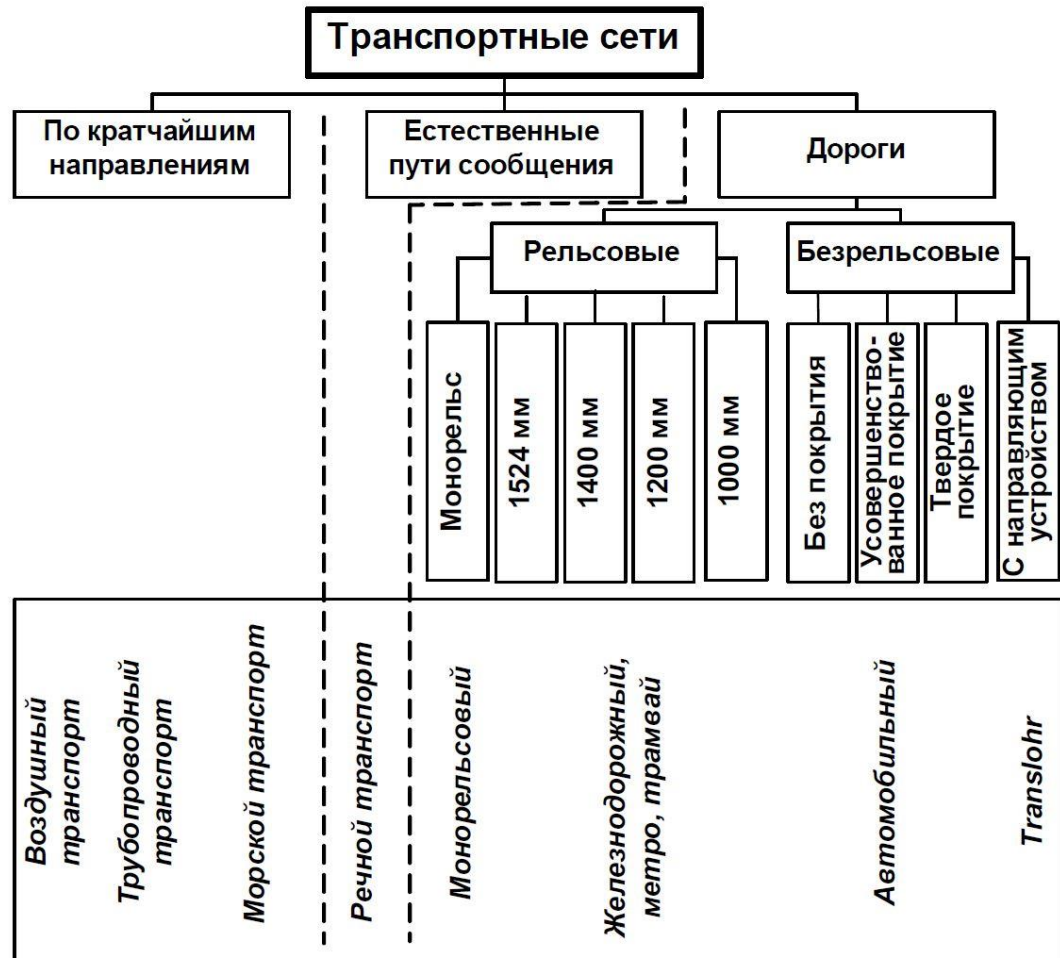


ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Классификация транспортных сетей по использованию их видами транспорта

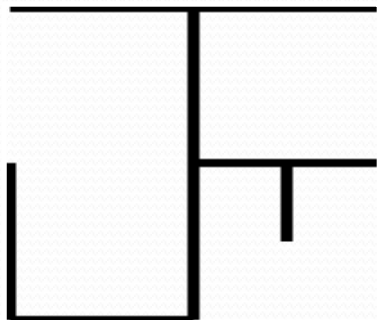
Транспортной сетью

называется
совокупность
транспортных связей,
по которым
осуществляются
пассажирские и
грузовые перевозки.

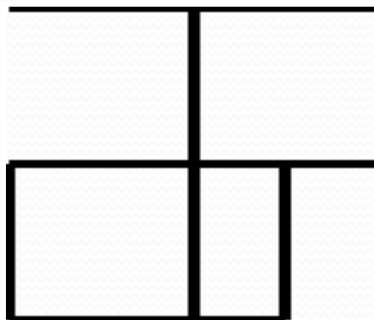


ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

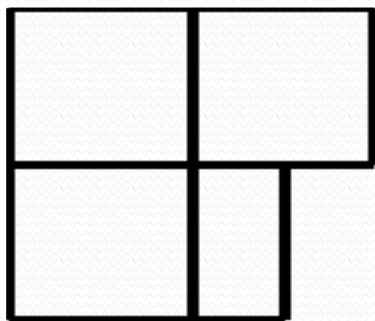
Топологические типы транспортных сетей



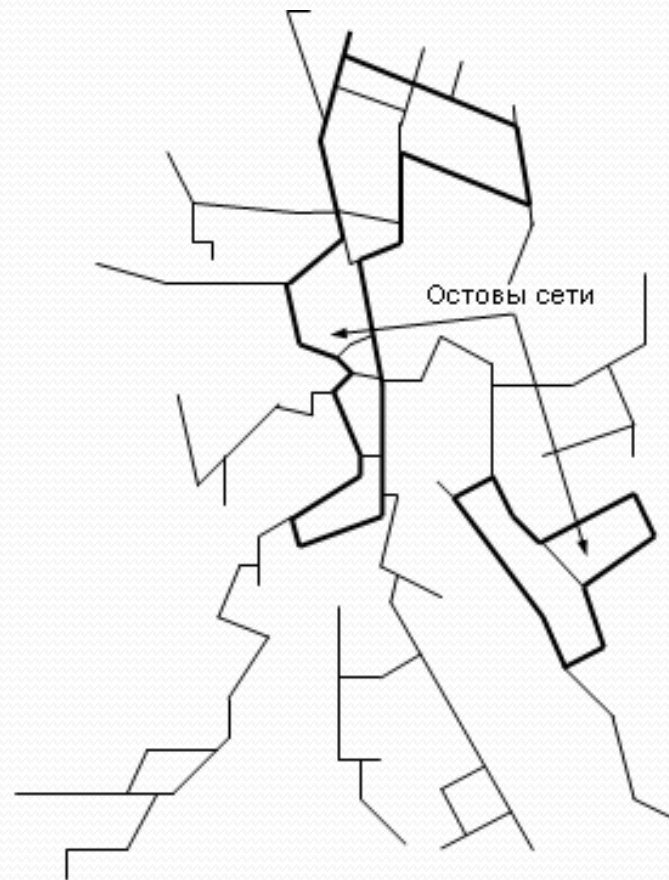
Древовидные



Циклические



Ячеистые



Транспортная сеть трамвая в Санкт-Петербурге

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Маршрутная сеть г. Ростова-на-Дону



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Модельное представление транспортной сети

Модель транспортной сети может быть представлена в виде графа.

Граф – это фигура, состоящая из точек (вершин) и соединяющих их отрезков (звеньев).

Вершины графа – это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения.

Звенья графа – это отрезки транспортной сети, характеризующие наличие дорожной связи между соседними вершинами. Звенья графа характеризуются числами, которые могут иметь различный физический смысл. Чаще всего это расстояние, но может использоваться, например, и время движения. Ориентированные по направлению звенья графа называются **дугами**. Фактически всякое неориентированное звено графа включает в себя две равноценные, но противоположно направленные дуги. В зависимости от того, все или часть звеньев имеют направление, граф является ориентированным или смешанным.

Граф, каждая вершина которого может быть соединена некоторой последовательностью звеньев с любой его другой вершиной, называется **связанным графом**.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Для моделирования транспортной сети необходимо иметь:

картографический материал; обычно это карты крупного масштаба, так как они позволяют с большой точностью делать замеры расстояний между пунктами;

сведения о размещении основных объектов транспортной системы и ее среды (в зависимости от решаемой задачи: грузообразующие и грузопоглощающие предприятия, жилые массивы, места приложения труда и т. п.);

дополнительные сведения из коммунальных и дорожных организаций в виде перечня улиц с характеристикой их проезжей части;

сведения по организации дорожного движения, т. е. схемы организации движения на перекрестках, площадях и транспортных развязках, а также сведения о различных ограничениях движения, связанных с установленными дорожными знаками.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Транспортное зонирование

Транспортное зонирование – это способ агрегирования индивидуальных потребностей пользователей в использовании транспортной сети для целей моделирования.

Типы транспортных зон

Селитебные, в которых в основном проживает население

Промышленные, которые покрывают территорию с промышленными объектами

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Основные правила транспортного зонирования

Внутри зоны должна обеспечиваться транспортная и пешеходная доступность территории.

При начертании границ зон необходимо использовать естественные препятствия в виде рек, железных дорог и т. п.

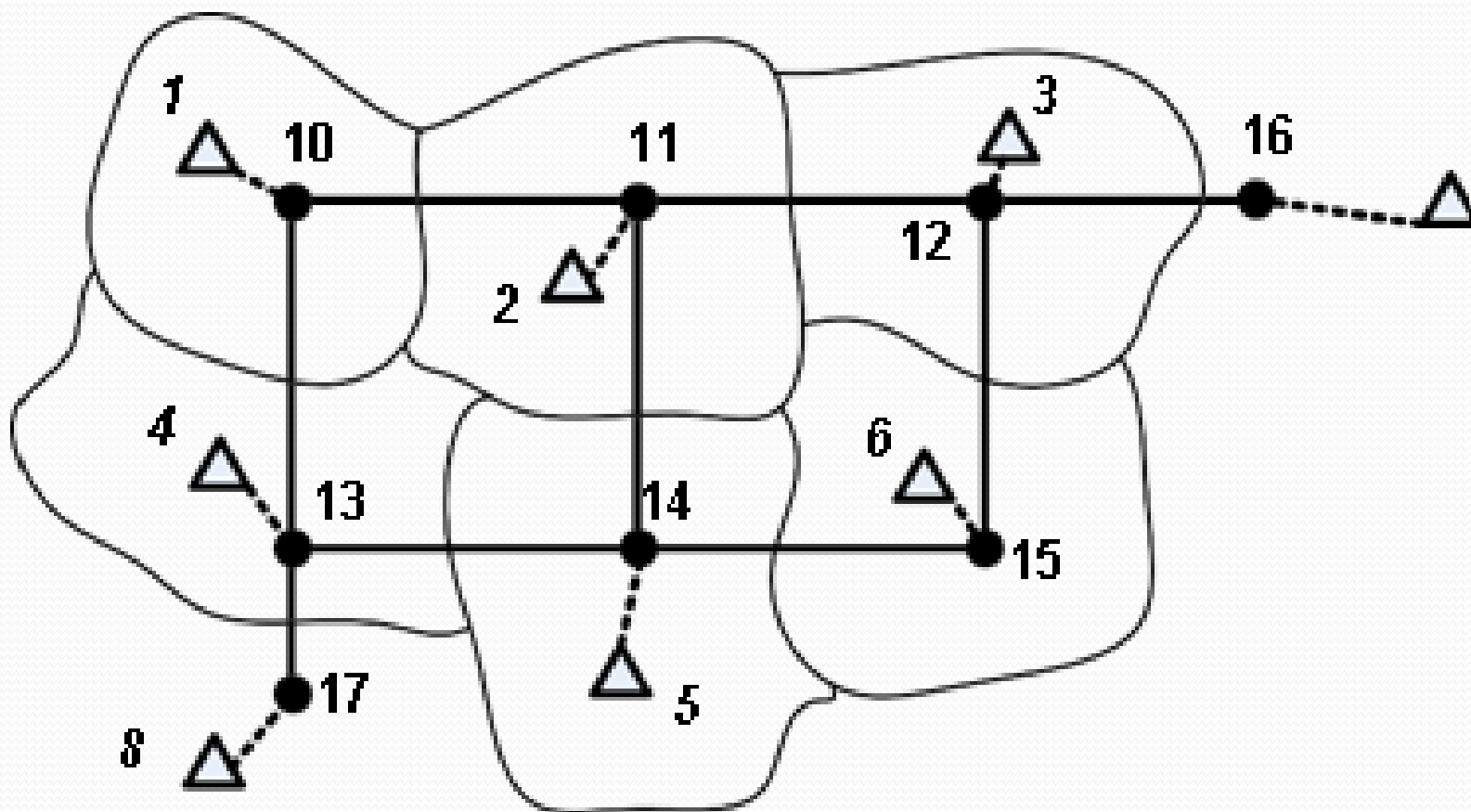
Если есть возможность, границы зон удобно совмещать с какими-либо административными границами.

Зона должна включать (по возможности) территорию одного назначения: жилую, промышленную, рекреационную и т. п.

Площадь зон, как правило, коррелирует со скоростью перемещения. Чем выше скорость, тем больше площадь зоны.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Модельное представление транспортной сети



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Ускорение расчетов транспортных сетей больших городов

Микрорайонирование

- Использование в качестве вершин не пересечений дорожной сети (перекрестков), а центров транспортных микрорайонов

Макрорайонирование (агрегирование)

- Разбиение транспортной сети на отдельные подсети, расчеты по которым могут выполняться отдельно, а затем объединяться для получения общего результата

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Уровни обслуживания транспортной сетью

Уровень обслуживания определенного района транспортной сетью характеризуется таким показателем, как плотность. Плотность транспортной сети определяют отношением ее протяженности к площади обслуживаемого района:

$$\delta = L_c / F.$$

Плотность транспортной сети характеризует ее доступность для обслуживаемого объекта независимо от ее топологии. Например, для пассажирского транспорта средняя пешеходная доступность транспортной линии связана с плотностью сети эмпирической формулой Зильбертала

$$l_{п.д.т.л} = 1/(3\delta).$$

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Уровни обслуживания транспортной сетью

Этот показатель не следует путать с пешеходной доступностью остановочного пункта, которая помимо плотности сети зависит также и от расстояния между остановочными пунктами и обычно определяется по следующей зависимости:

$$l_{п.д.о.п} = k_{нп} k_v [1/(3\delta) + l_p/4],$$

где $k_{нп}$ – коэффициент непрямолинейности подхода к остановочному пункту – обычно принимается 1,2;

k_v – коэффициент выбора остановочного пункта, учитывающий время пешеходного перемещения в общих затратах времени на поездку;

$$k_v = 1 + v_{пеш}/v_c ;$$

l_p – средняя длина перегона между остановочными пунктами;

$v_{пеш}$ – скорость передвижения пешком;

v_c – скорость сообщения.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Уровни обслуживания транспортной сетью

Пешеходная доступность остановочных пунктов нормируется градостроительными нормативами.

Населенность зоны пешеходной доступности транспортных линий определяется отношением количества жителей, проживающих в зоне пешеходной доступности, к общему количеству жителей.

Коэффициент охвата сети – это отношение протяженности транспортной сети к общей протяженности городской уличной сети.

Емкость транспортной сети определяется максимальным количеством транспортных средств, которое может находиться на ней одновременно. Она характеризует не только протяженность, но и рядность входящих в сеть дорог.

Пропускная способность всей транспортной сети, в отличие от отдельных ее элементов, не имеет до сих пор единого критерия оценки. Пропускная способность транспортной сети оценивается по ее плотности, емкости, суммарной пропускной способности входных дорог относительно площади обслуживаемого района, условию возникновения затора на любом отрезке сети и т. д.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Задача о максимальном потоке

Задача о максимальном потоке может быть сформулирована следующим образом: два узла соединены транспортной сетью; каждому ее ребру соответствует определенная пропускная способность (по числу транспортных единиц, объему груза или количеству пассажиров). Требуется найти максимальный поток, который можно пропустить по сети из одного пункта, называемого источником s , в другой, называемый стоком S .

Пропускная способность ребра определяется максимальным количеством груза r_{ij} (или чего-то иного), которое может пропустить за единицу времени данное ребро.

Количество груза, проходящего через ребро в единицу времени, называется потоком по ребру q_{ij} .

Если поток по ребру меньше его пропускной способности, то ребро называют ненасыщенным, в случае равенства – насыщенным.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Задача о максимальном потоке

Совокупность потоков по всем ребрам $Q = \{q_{ij}\}$ называется потоком по сети.

Для любой вершины, кроме истока и стока, количество груза, поступающего в эту вершину, равно количеству груза, выходящего из него. Это ограничение является условием сохранения потока.

В промежуточных вершинах потоки не исчезают и не создаются. Как следствие, общее количество груза, выходящего из источника, совпадает с общим количеством груза, поступающего в сток. Это количество груза называется мощностью потока на сети.

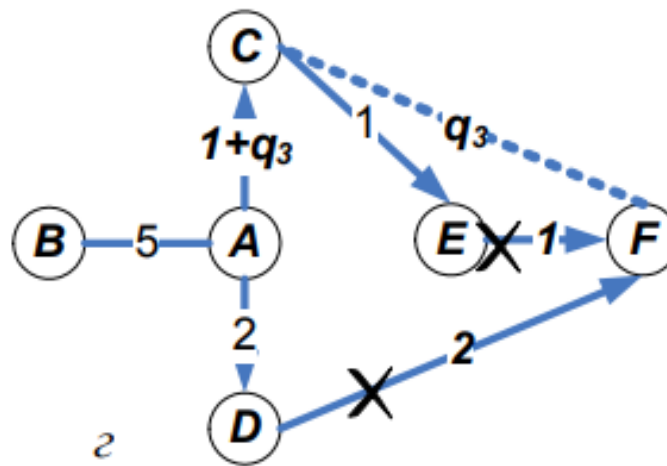
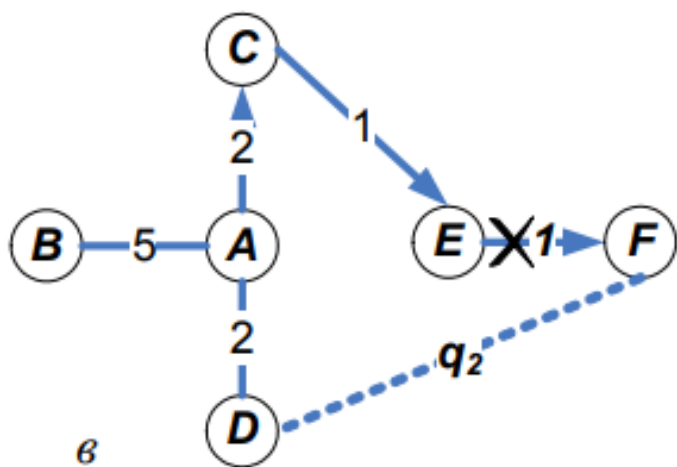
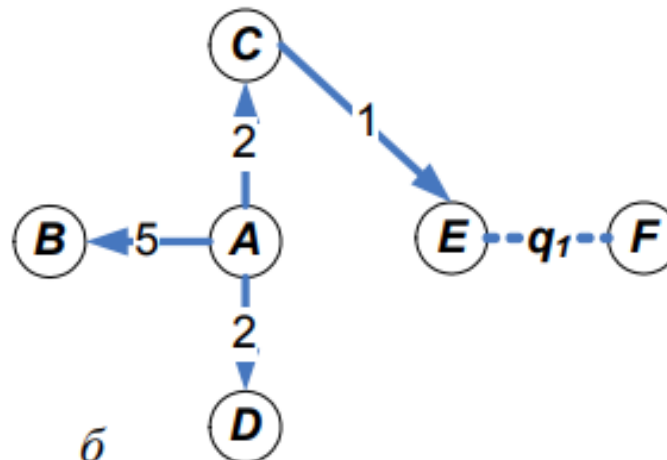
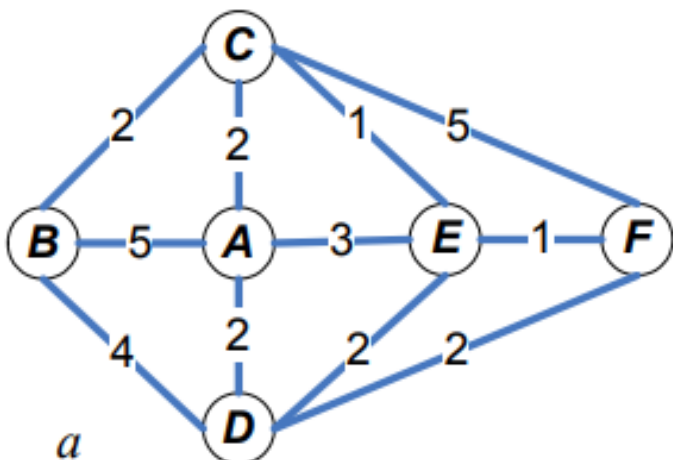
Таким образом, если множество M задается системой линейных неравенств

$$M = \{q_{ij} : q_{ij} = -q_{ji}, \quad q_{ij} \leq r_{ij}, \quad i, j \in \overline{1, N}, \quad \sum_{j=1}^N q_{ij} = 0, \quad i \neq s, S\},$$

а $f(x) = \sum_{j=1}^N x_{sj}$, то задача максимизации $f(x)$ на M называется задачей о максимальном потоке в сети, имеющей N узлов.

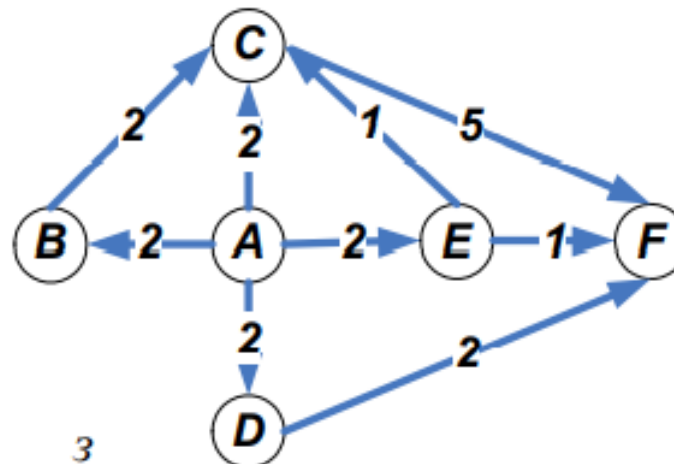
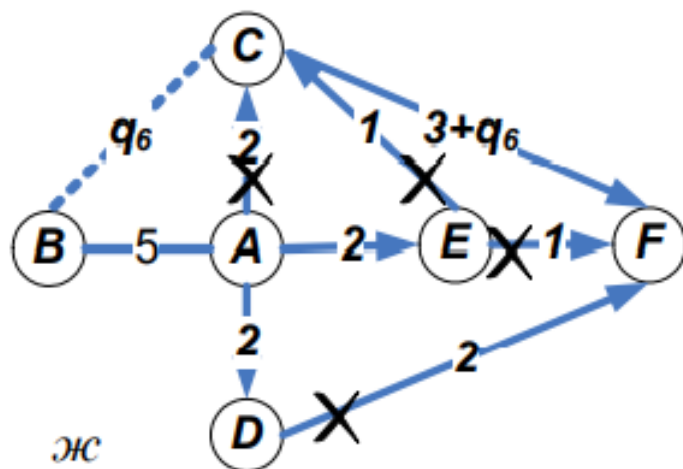
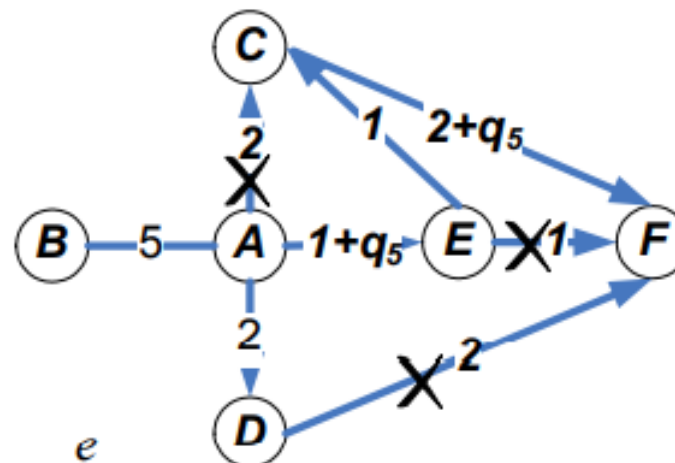
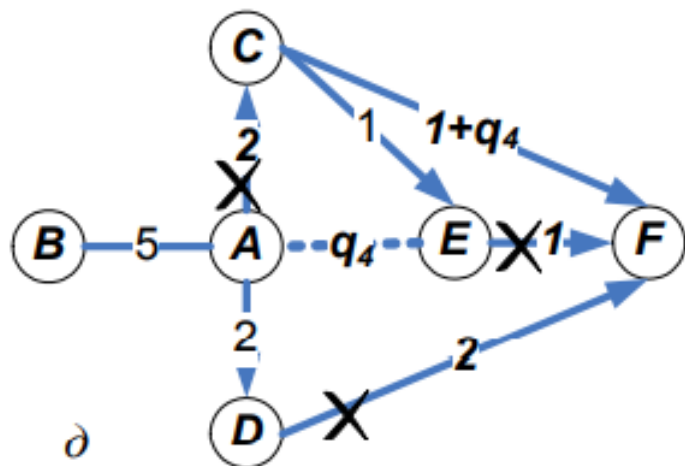
ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Последовательность решения задачи о максимальном потоке



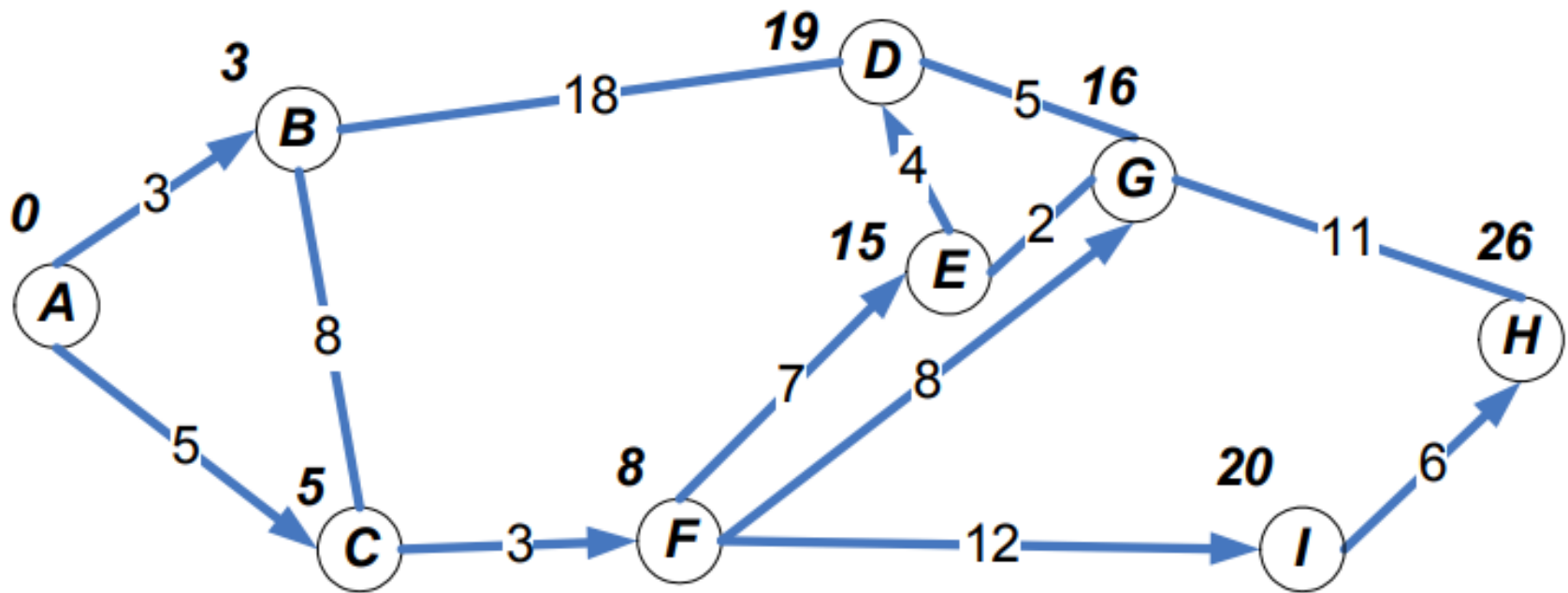
ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Последовательность решения задачи о максимальном потоке



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Построение дерева кратчайших путей



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Замедление двух транспортных средств

Для маршрутного транспорта рассчитываются пропускные способности полосы движения, регулируемого перекрестка и остановочного пункта.

Пропускная способность полосы движения оценивается по допустимому из соображений безопасности интервалу между транспортными средствами. Минимальный интервал движения между транспортными средствами должен быть таким, чтобы в случае остановки впереди идущего транспортного средства следующий за ним мог своевременно остановиться, т. е. было исключено столкновение транспортных средств.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Замедление двух транспортных средств

Мгновенное значение скорости задается первой производной расстояния перемещения по времени

$$v = dl/dt.$$

Ускорение (или замедление) определяется второй производной расстояния или первой производной скорости по времени:

$$a = dv/dt.$$

Применяя цепную подстановку, получаем:

$$a = \frac{dv}{dl} \left(\frac{dl}{dt} \right) = \left(\frac{dv}{dl} \right) v.$$

Преобразовывая выражение, получаем:

$$v dv = a dl, \text{ или } v^2/2 = al,$$

откуда при постоянной величине замедления длина тормозного пути следующего первым транспортного средства $l_1 = v^2/2a_1$.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Замедление двух транспортных средств

С учетом времени реакции водителя, следующего за первым начавшим торможение транспортным средством, длина его тормозного пути

$$l_2 = vt_p + v^2/2a_2.$$

С другой стороны, исходя из первоначального расстояния между транспортными средствами l , длины транспортного средства l_n и безопасного расстояния между ними после остановки l_6 необходимая протяженность тормозного пути

$$l_2 = l + l_1 - l_n - l_6.$$

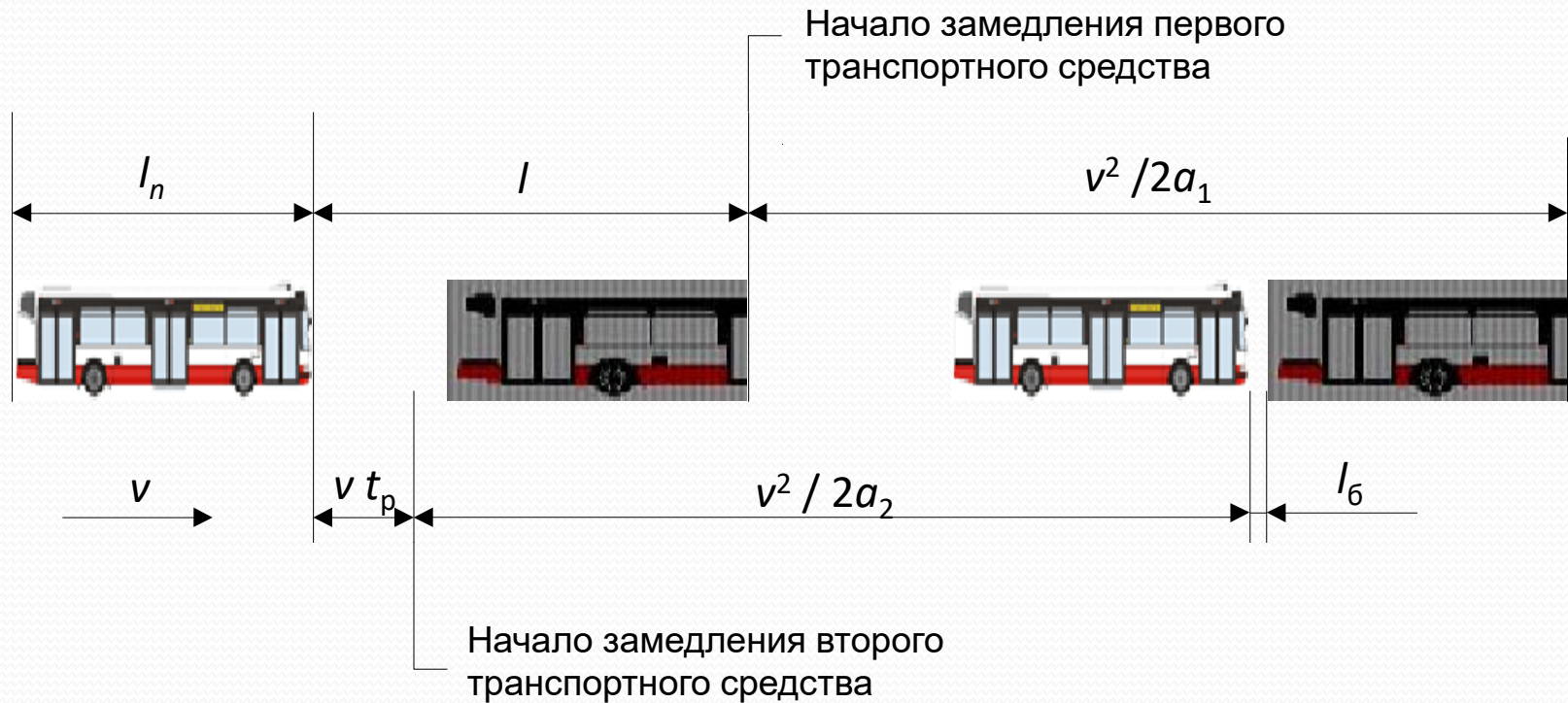
Отсюда минимально необходимое расстояние между транспортными средствами

$$l_{\text{мин}} = vt_p + v^2/2a_2 - v^2/2a_1 + l_n + l_6,$$

где t_p – время реакции водителя (в расчетах принимают обычно от 1 до 1,5 с).

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Схема замедления двух транспортных средств



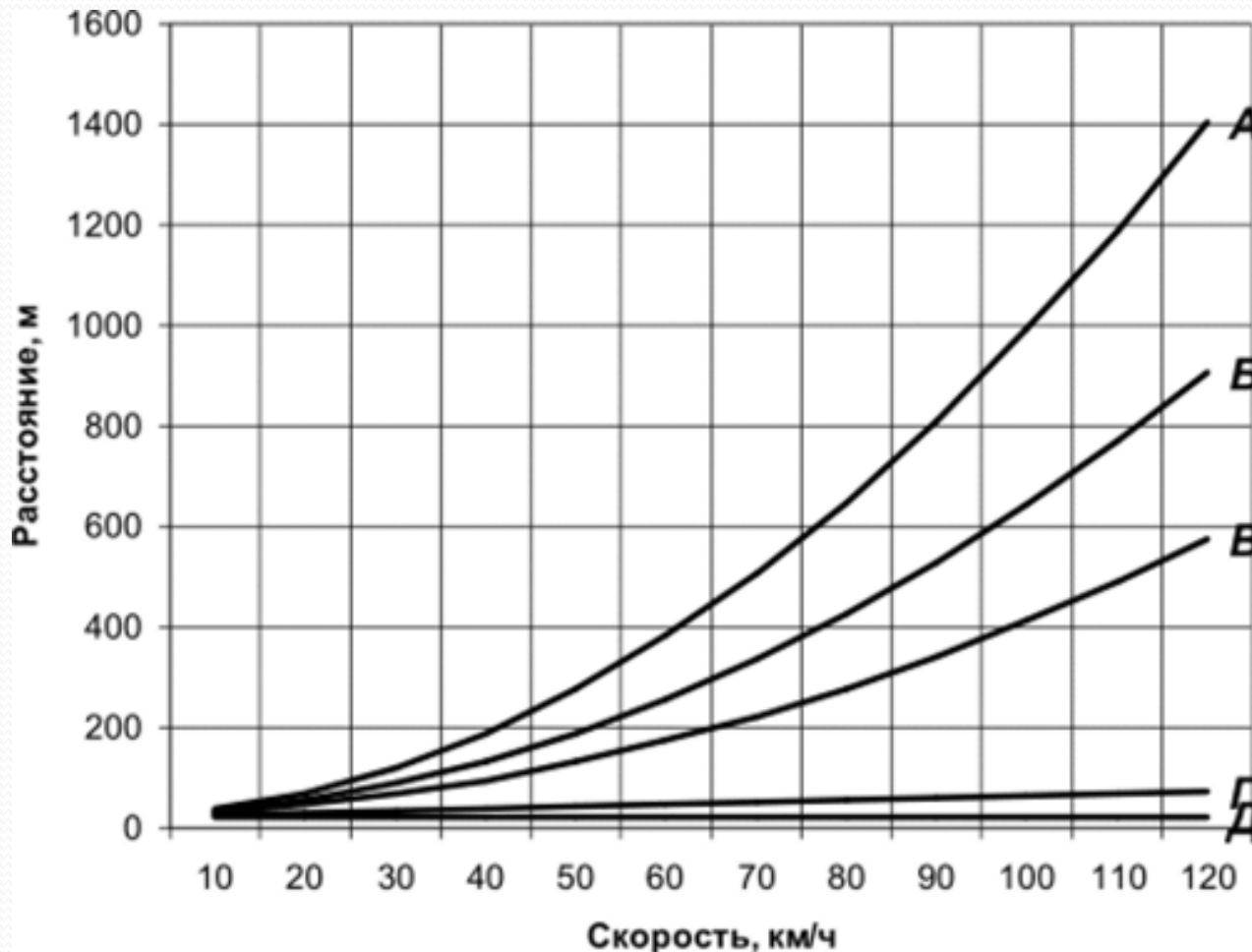
ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Уровни безопасности при движении транспортных средств

Уровень безопасности	Замедление первого транспортного средства	Замедление второго транспортного средства
А	$a_{\text{м}}$	$a_{\text{н}}$
Б	$a_{\text{э}}$	$a_{\text{н}}$
В	$a_{\text{м}}$	$a_{\text{э}}$
Г	$a_{\text{н}}$	$a_{\text{н}}$
Д	Без торможения	Без торможения

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

**Минимально необходимое расстояние между транспортными средствами
в зависимости от скорости движения и уровня безопасности**



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Минимально необходимое расстояние между транспортными средствами в зависимости от скорости движения и уровня безопасности

Основываясь на минимально необходимом расстоянии между транспортными средствами, делением на v можно определить минимально необходимый интервал между ними:

$$I_{\text{мин}} = t_p + v/2a_2 - v/2a_1 + (l_n + l_6)/v.$$

Для уровня безопасности B $a_1 = \infty$, и выражение можно упростить:

$$I_{\text{мин}} = t_p + v/2a_3 + (l_n + l_6)/v.$$

Пропускная способность, определяемая для **колонного движения** транспортных средств с минимальными интервалами,

$$\begin{aligned} P_m &= 3600/I_{\text{мин}} = 3600/(t_p + v/(2a_3) + (l_n + l_6)/v) = \\ &= 3600v/[vt_p + v^2/(2a_3) + (l_n + l_6)]. \end{aligned}$$

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Минимально необходимое расстояние между транспортными средствами в зависимости от скорости движения и уровня безопасности

Выражение показывает, что пропускная способность P_m является функцией скорости движения транспортных средств. При $v=0$ и $v=\infty$ получим $P_m=0$. Следовательно $P_m(v)$ имеет максимальное значение в точке, в которой производная $dI_{\min}/dv=0$. Тогда скорость, обеспечивающая максимальную пропускную способность,

$$v_{\text{опт}} = [2a_z(l_n + l_6)]^{1/2}.$$

Зависимость $P_m(v)$ показывает, что с ростом скорости транспортного потока пропускная способность полосы движения сначала монотонно возрастает, достигая максимума при $v=v_{\text{опт}}$, и при дальнейшем росте скорости падает. Это связано с тем, что с ростом скорости движения прогрессивно растет требуемый интервал движения между транспортными средствами I_{\min} и транспортный поток растягивается по длине полосы.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Сравнительные характеристики маршрутных транспортных средств

Показатели	Виды транспорта				
	Автобус	Сочлененный автобус	Четырехосный трамвай	Шестисосный трамвай	Поезд метро
Количество транспортных средств в составе	1	1	1	1	6
Длина, м	12	18	15	22,5	18
Вместимость, пасс.	110	175	165	250	145
Расстояние безопасности, м	1	1	2	2	2
Время реакции водителя, с	1	1	1	1	0
Нормальное замедление, м/с ²	1,5	1,5	1,2	1,2	1,1
Экстренное замедление, м/с ²	4,0	4,0	3,0	3,0	1,8
Максимальная скорость, км/ч	90	80	70	90	100
Эксплуатационный режим безопасности	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
Типичная модель	ЛиАЗ-5256	ЛиАЗ-6213	ЛВС-2008 (71-153)	ЛВС-2005 (71-152)	Мюнхенское метро

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Пропускная способность пересечений и остановочных пунктов

На регулируемых пересечениях пропускная способность определяется, в основном, параметрами светофорного регулирования:

$$P_{\text{пр}} = (3600/T_{\text{ц}})(t_{\text{з}}/t_{\text{и}}),$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла светофорного регулирования, с;

$t_{\text{з}}$ – продолжительность разрешенной фазы для рассматриваемого направления движения, с;

$t_{\text{и}}$ – интервал между следующими через перекресток маршрутными транспортными средствами, с.

При расчете пропускной способности остановочного пункта будем исходить из того, что она будет максимальной, если транспортное средство подходит к остановочному пункту со скоростью v на величину зазора безопасности $l_6=l_n$ в момент, когда предыдущее транспортное средство отходит от остановки на величину пути, равную своей длине l_n . На пути l_n транспортное средство затормаживается и останавливается у остановочного знака.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Пропускная способность пересечений и остановочных пунктов

Минимальный интервал времени между транспортными средствами, проходящими остановочный пункт, будет определяться следующим образом:

$$I_{\min \text{ о.п.}} = t_{\text{т}} + t_{\text{о.д.}} + t_{\text{п.в.}} + t_{\text{з.д.}} + t_{\text{осв}},$$

где $t_{\text{т}}$ – время торможения, с;

$t_{\text{о.д.}}$ – время, затрачиваемое на открывание дверей транспортного средства (по опытным данным $t_{\text{о.д.}} = 1,5\text{--}2$ с), с;

$t_{\text{п.в.}}$ – время на пассажирообмен, с;

$t_{\text{з.д.}}$ – время, затрачиваемое на закрывание дверей транспортного средства после посадки-высадки пассажиров ($t_{\text{з.д.}} = 2\text{--}3$ с), с;

$t_{\text{осв}}$ – время на освобождение остановочного пункта, с.

Время торможения на пути $l_n = 0,5a_{\text{т}}t_{\text{т}}^2$ со служебным замедлением $a_{\text{т}}$ при равнозамедленном движении будет

$$t_{\text{т}} = [(2l_n)/a_{\text{т}}]^{1/2}$$

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Пропускная способность пересечений и остановочных пунктов

Время, затрачиваемое на освобождение остановочного пункта (разгон на пути l_n со служебным ускорением a_n):

$$t_{\text{осв}} = [(2l_n)/a_n]^{1/2}$$

Время на пассажирообмен, затрачиваемое на посадку и высадку пассажиров исходя из того, что на остановке входят и выходят 10% пассажиров относительно расчетной вместимости автобуса,

$$t_{\text{п.в}} = (k_{\text{п.в}} k_{\text{н.д}} k_{\text{к}} q_{\text{р}} t_{\text{пасс}}) / n_{\text{д}}$$

где $k_{\text{п.в}}$ – доля входящих и выходящих пассажиров на остановке от расчетной вместимости автобуса;

$k_{\text{н.д}}$ – коэффициент неравномерности посадки и высадки пассажиров по дверям автобуса;

$k_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий влияние на время посадки и высадки пассажиров конструктивных особенностей автобуса (высота над посадочной площадкой пола салона, ширина дверей и т. п.);

$q_{\text{р}}$ – расчетная вместимость подвижного состава;

$t_{\text{пасс}}$ – время посадки или высадки одного пассажира;

$n_{\text{д}}$ – количество дверей.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Основные показатели транспортных потоков


Основным назначением транспортной сети в транспортной системе является обеспечение перемещения транспортных средств. Упорядоченное транспортной сетью движение транспортных средств называют **транспортным потоком**, перемещение пассажиров и грузов – соответственно **пассажиропотоком** и **грузопотоком**, движение пешеходов – **пешеходным потоком**.

Для характеристики транспортных потоков используются следующие **основные показатели**:

- **ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ;**
- **ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ;**
- **ПЛОТНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ;**
- **СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ.**

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Основные показатели транспортных потоков



Интенсивность движения – количество транспортных средств, проходящих через поперечное сечение в определенном направлении в единицу времени

Временной интервал – величина, обратная интенсивности, используется для маршрутных пассажирских или линейных грузовых перевозок

Плотность транспортного потока – пространственная характеристика, определяющая степень стесненности движения на полосе дороги

Скорость движения – важнейший показатель транспортной сети, т.к. определяет её эффективность

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Основные показатели транспортных потоков

Интенсивность движения:

$$N_a = n_a / t.$$

Приведенная интенсивность движения:

$$N_{\text{пр}} = \sum_n (N_{ai} K_{\text{при}}),$$

где N_{ai} – интенсивность движения автомобилей данного типа;

$K_{\text{при}}$ – соответствующие коэффициенты приведения для данной группы автомобилей;

n – число типов автомобилей, на которые разделены данные наблюдений.

Коэффициент загрузки дороги:

$$z = N_{\phi} / P_{\phi},$$

где N_{ϕ} – существующая интенсивность движения;

P_{ϕ} – пропускная способность дороги.

Временной интервал:

$$t_n = 1 / N_a.$$

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Скорость движения



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Микроскопическое моделирование

При исследовании транспортных потоков используют *два подхода*. Первый предполагает исследование процессов, происходящих внутри потока, и поэтому он получил название микроскопическое моделирование. Микроскопическое моделирование рассматривает транспортный поток как взаимное положение следующих друг за другом автомобилей и основано на *теории следования за лидером*.

$$a_{(n+1)(t+\tau)} = K(v_{nt} - v_{(n+1)t})/S_{n(n+1)t},$$

где $a_{(n+1)(t+\tau)}$ – ускорение ведомого автомобиля в момент времени $(t + \tau)$;

τ – время реакции водителя;

K – коэффициент, учитывающий максимально возможное изменение скорости лидера (обычно его значение близко максимальному замедлению для данного типа автомобиля);

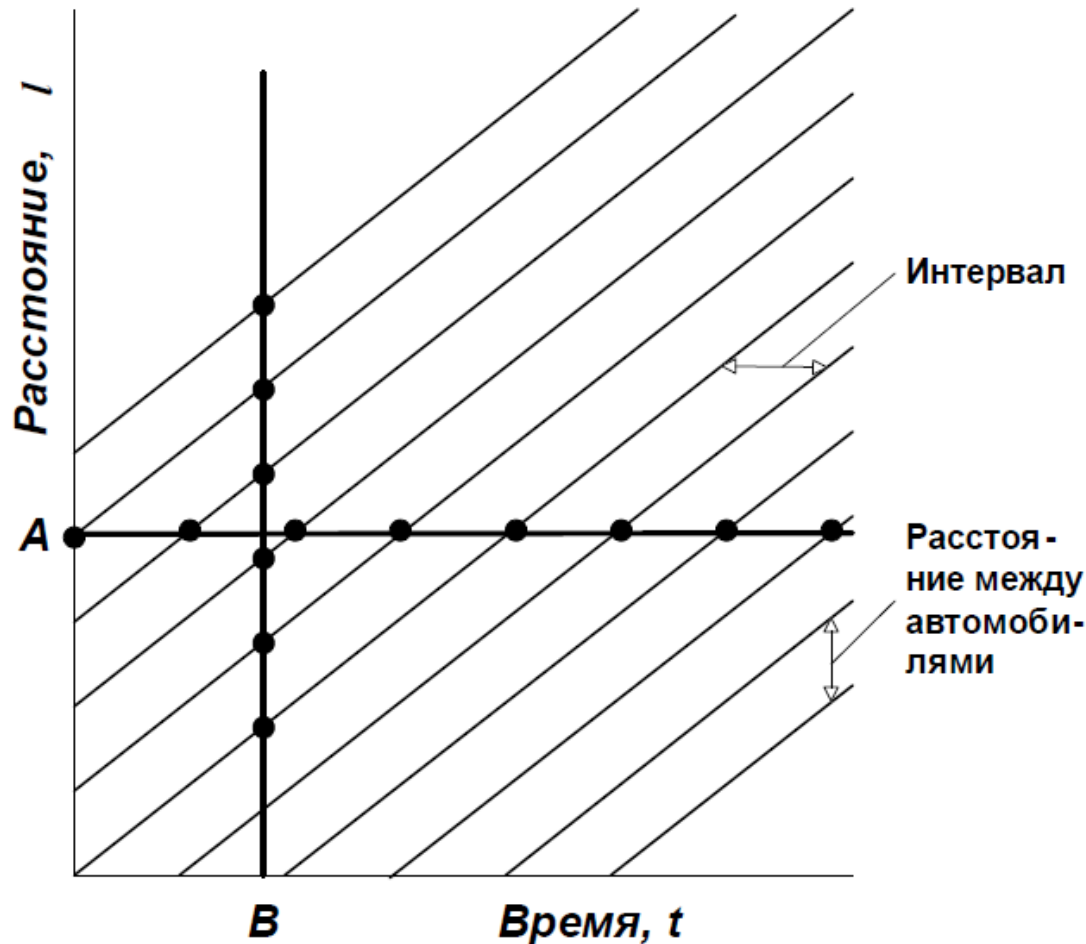
v_{nt} – скорость лидера в момент времени t ;

$v_{(n+1)t}$ – скорость ведомого в момент времени t ;

$S_{n(n+1)t}$ – расстояние между автомобилями в момент времени t .

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Макроскопическое моделирование. Равномерный транспортный поток.

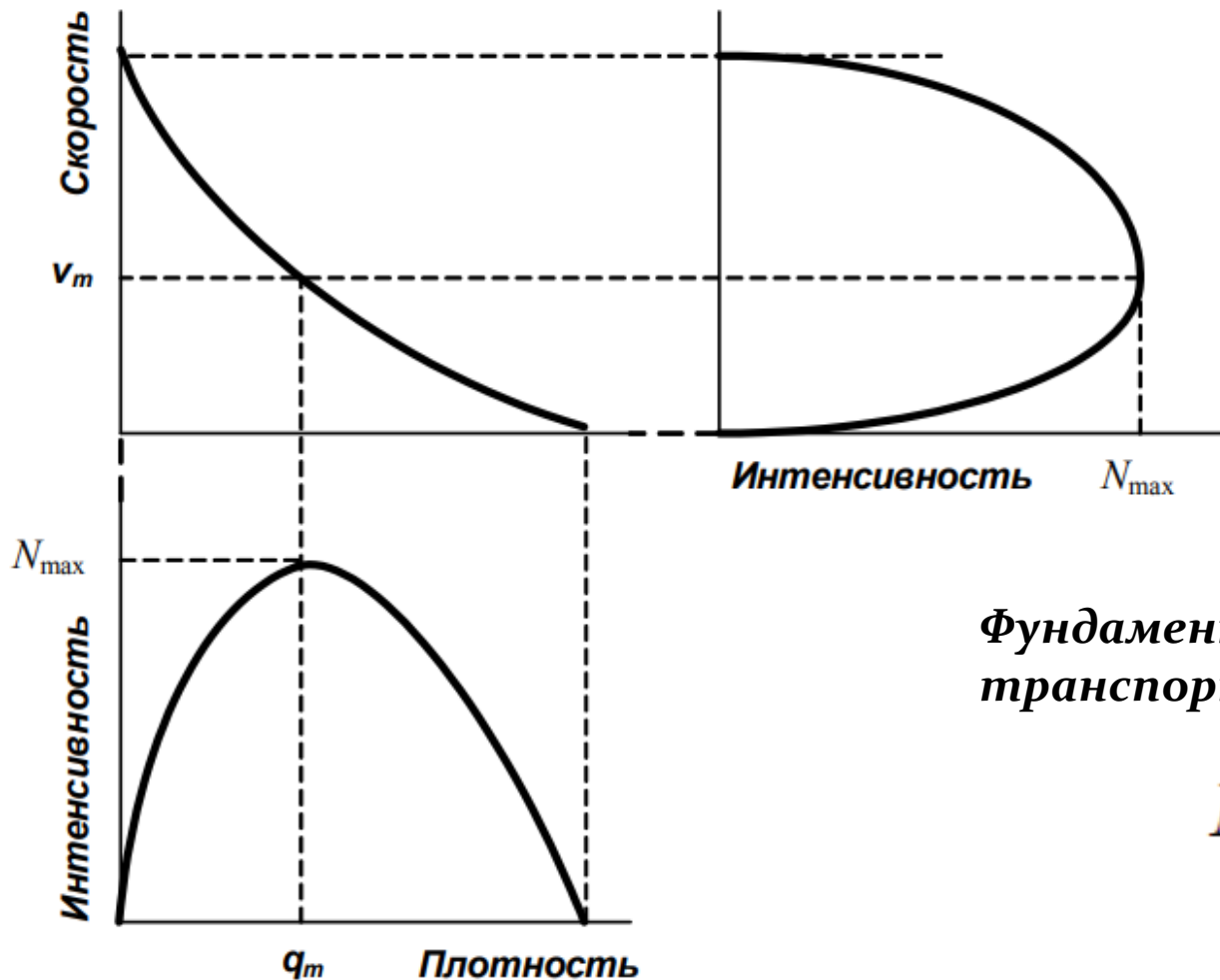


Второй подход к изучению транспортных потоков представляет его как целостный процесс, характеризующийся только внешними параметрами. При таком подходе создаются макроскопические модели, которые рассматривают такие характеристики потока, как скорость, интенсивность, плотность и т. п.

Диаграмма «время – расстояние между автомобилями»

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Зависимости между плотностью, скоростью и интенсивностью транспортного потока



Фундаментальное выражение транспортного потока:

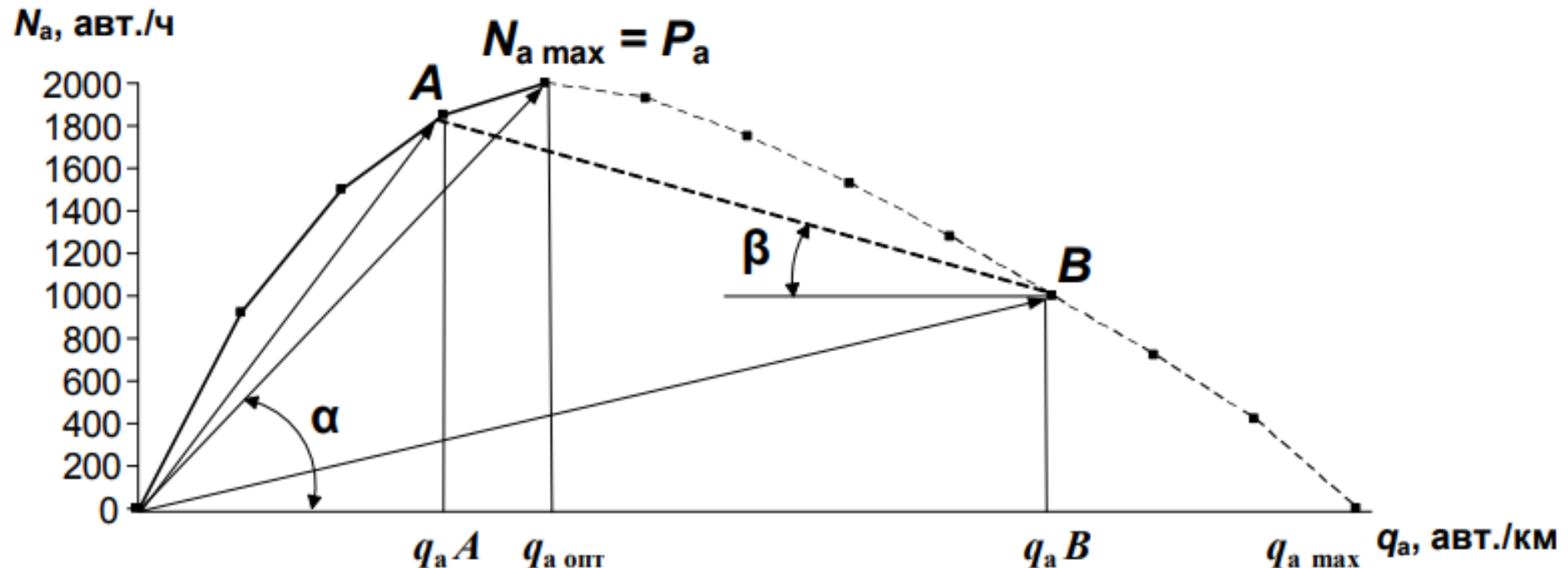
$$N_a = v_a q_a.$$

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Основная диаграмма транспортного потока

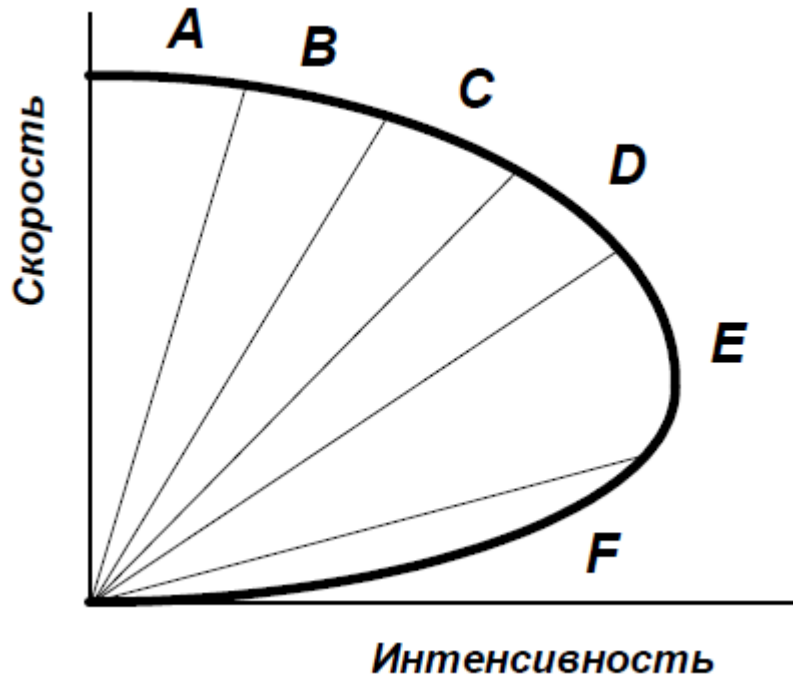
$$N_a = q_a v_a(q_a).$$

$$\bar{v}_a = \frac{N_a}{q_a} = \operatorname{tg} \alpha.$$



ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ

Уровни обслуживания пользователей транспортной сети



A – свободный поток автомобилей может двигаться с максимальной разрешенной скоростью. Свободные условия для выполнения маневров. Задержек на регулируемых пересечениях нет или они минимальны.

B – сохраняются условия движения свободного потока при несколько большей плотности автомобилей на дороге.

C – стабильный поток автомобилей, но его скорость может снижаться до 50 % от скорости свободного потока. Возможности маневра и задержки могут возрастать.

D – в этих условиях могут значительно снижаться скорость потока и возрастать его плотность. Условия движения становятся некомфортными. Возрастают задержки движения.

E – нестабильные условия движения с резким колебанием скорости потока.

F – крайне нестабильные условия движения с длительными задержками.

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ


Характеристика уровней обслуживания

Используемая в США			Предложенная проф. В. В. Сильяновым		
Уровень обслуживания	Максимальная интенсивность на полосу	Условия движения	Уровень удобства	Коэффициент загрузки	Условия движения
<i>A</i>	600	Свободный поток	A	$< 0,2$	Свободный поток
<i>B</i>	990	Устойчивый поток	Б	$0,2-0,45$	Частично связанный поток
<i>C</i>	1430	Устойчивый поток	В	$0,45-0,7$	Связанный поток
<i>D</i>	1910	Близкий к неустойчивому	Г-а	$0,7-1,0$	Насыщенный поток
<i>E</i>	2250	Неустойчивый поток	Г-б	$\geq 1,0$	Плотно насыщенный поток


Транспортные процессы

Формы транспортных процессов

Функционирование транспортной системы реализуется посредством выполнения транспортных процессов



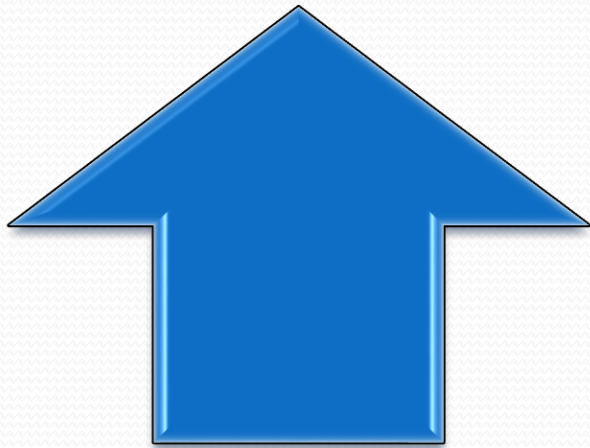
Выполняя те или иные транспортные процессы система достигает своей цели



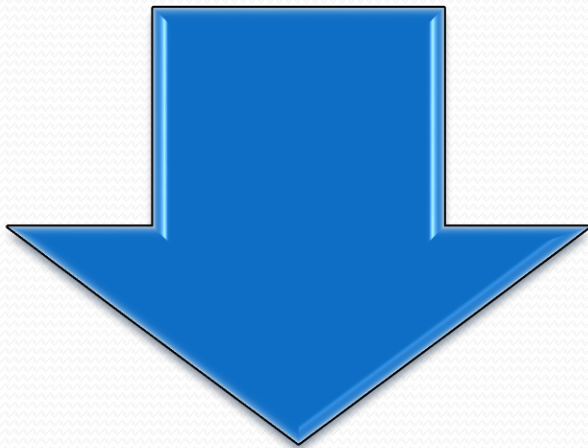
Транспортные процессы могут быть скалярными и векторными (потокowymi). Но также один и тот же процесс может присутствовать в двух формах.

Транспортные процессы

Формы транспортных процессов



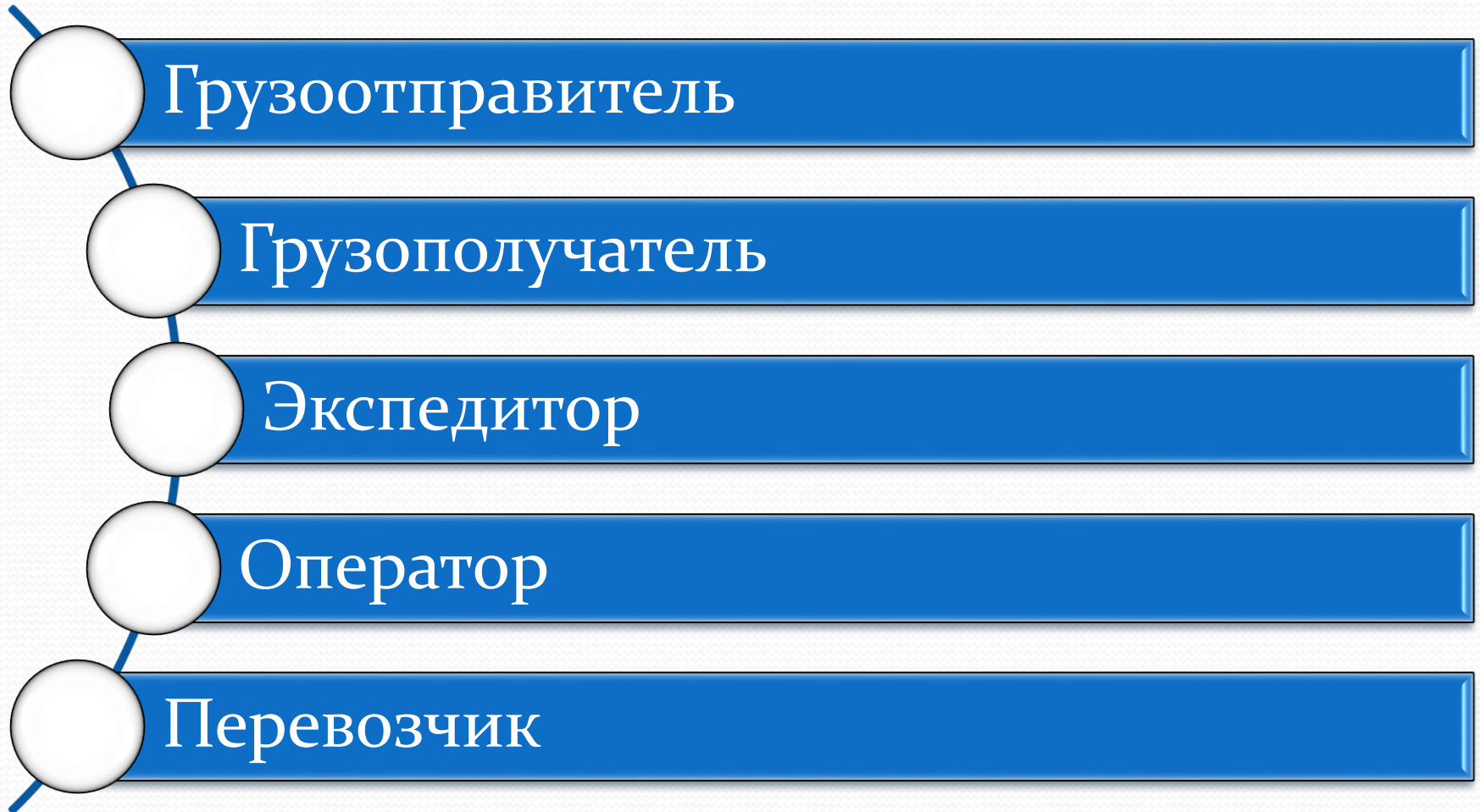
Скалярные



Векторные

Транспортные процессы

Основные субъекты транспортной системы



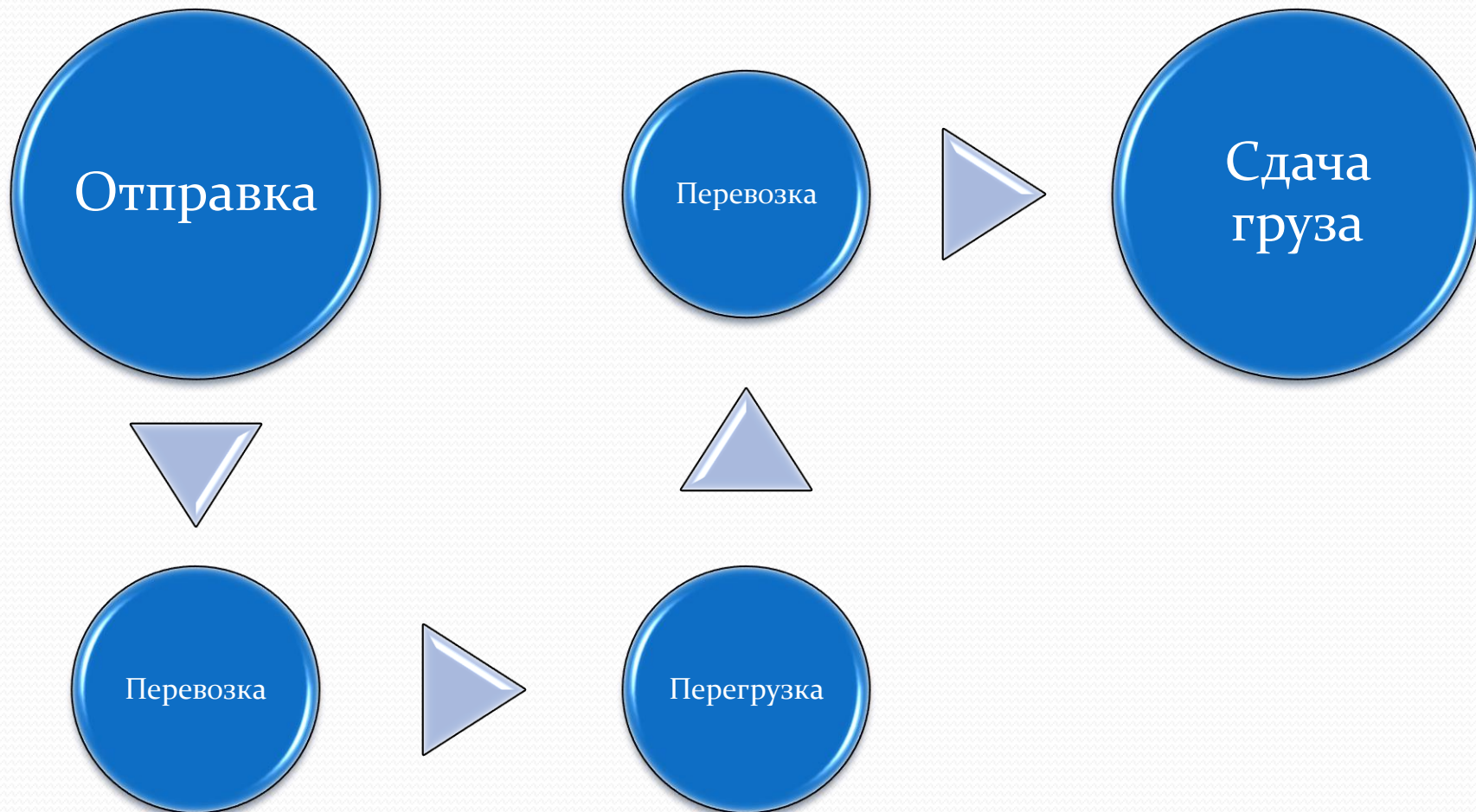
Транспортные процессы

Транспортные процессы на наиболее общем (верхнем) уровне это:



Транспортные процессы

Основные подпроцессы *процесса доставки*:



Транспортные процессы

Потоки данных разделяются между процессами на группы:

Потоки данных с заказами и материалами контрактов на перевозки

Потоки данных с информацией о заказе транспортных средств

Потоки данных с документацией (накладные, коносаменты и т.п.)

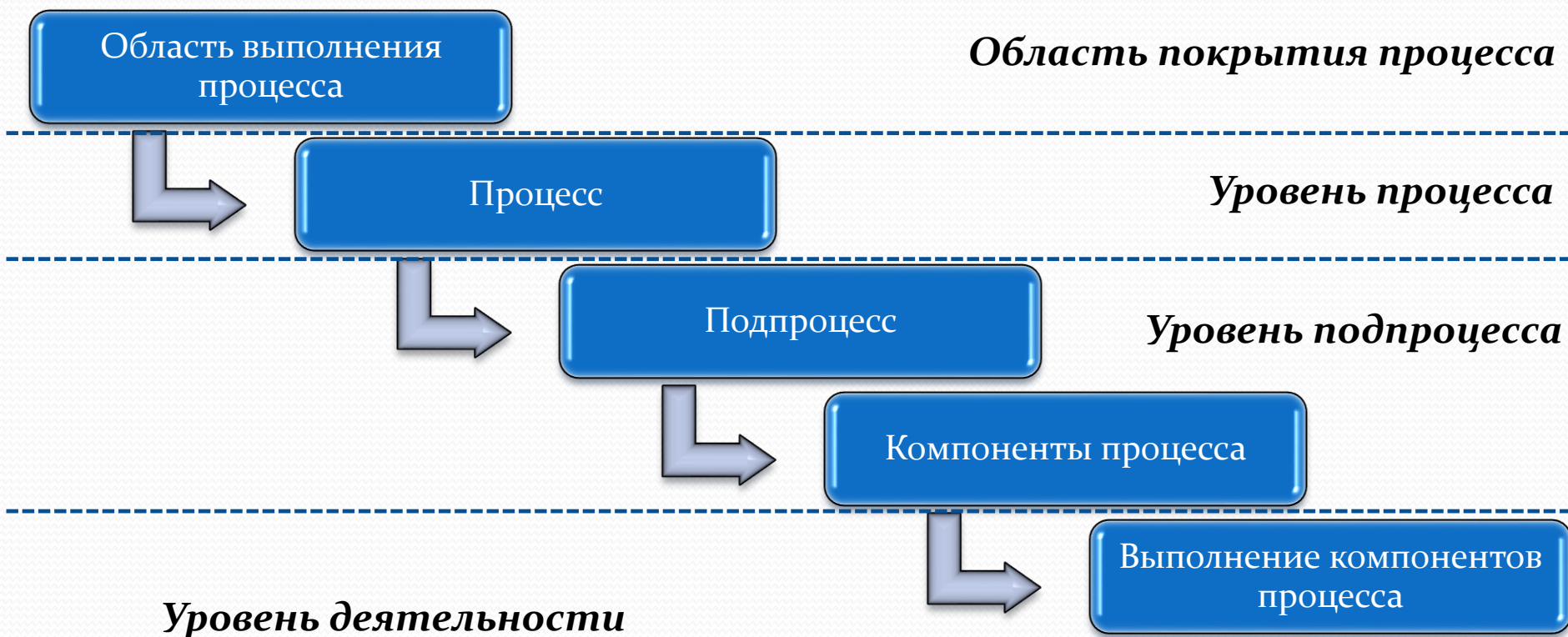
Потоки данных с управленческой информацией

Потоки данных, относящиеся к сопровождению транспортных средств и грузов

Потоки данных с прочей информацией

Транспортные процессы

Схема иерархии описания процессов



Транспортные процессы

Пример таблицы процессов

Процесс	Описание	Начало	Конец	Примечание
Процессы верхнего уровня				
Доставка	Перевозка груза от отправителя к получателю в соответствии с заказом.	Готовность груза к отправке. Готовность плана доставки.	Готовность груза и данных для получателя.	Все стадии процесса доставки генерируют данные для процессов отправки, слежения и т.п.
Планирование	Планирование цепочки доставки груза и ее логистического обслуживания.	Определение технологии перевозки.	Начало перевозки груза.	Процесс планирования предваряет перевозку, а процесс управления её сопровождает.
Управление	Управление цепочкой поставки грузов и её логистическим обслуживанием.	Начало перевозки груза.	Завершение доставки груза.	
Слежение и трассировка	Сбор, хранение данных и распределение их среди пользователей. Подготовка запросов.	Определена необходимость процесса.	Данные удалены.	

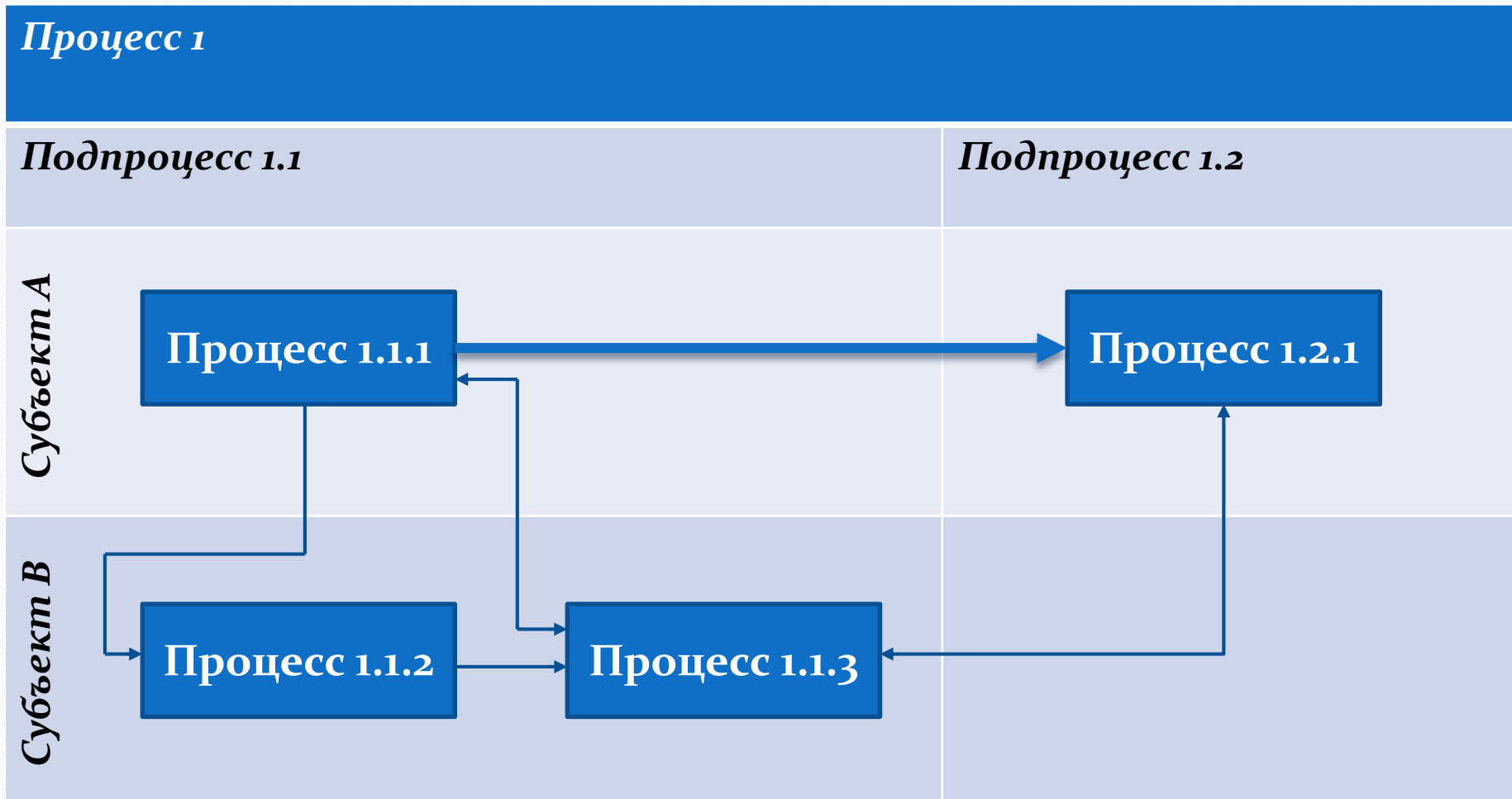
Транспортные процессы

Пример таблицы процессов

Процесс	Описание	Начало	Конец	Примечание
Подпроцессы доставки				
Отправка	Подготовка груза к перевозке и передача его перевозчику.	Готовность груза к отправке. Готовность плана доставки.	Груз и ответственность переданы перевозчику.	Иерархия процесса зависит от вида транспорта.
Перевозка	Перевозка груза от пункта отправления ТС до пункта прибытия.	Груз и ответственность переданы перевозчику.	Груз и ответственность сняты с перевозчика.	Процесс влечет необходимость выполнения процессов погрузки и разгрузки.
Перегрузка	Передача с одного этапа доставки на другой.	Груз и ответственность получены.	Груз и ответственность сняты.	Может сопровождаться процессами хранения, сортировки и т.п.
Получение	Получение отправленного груза.	Груз и ответственность получены.	Товар готов к использованию на следующей стадии.	Процесс влечет необходимость выполнения процессов разгрузки.

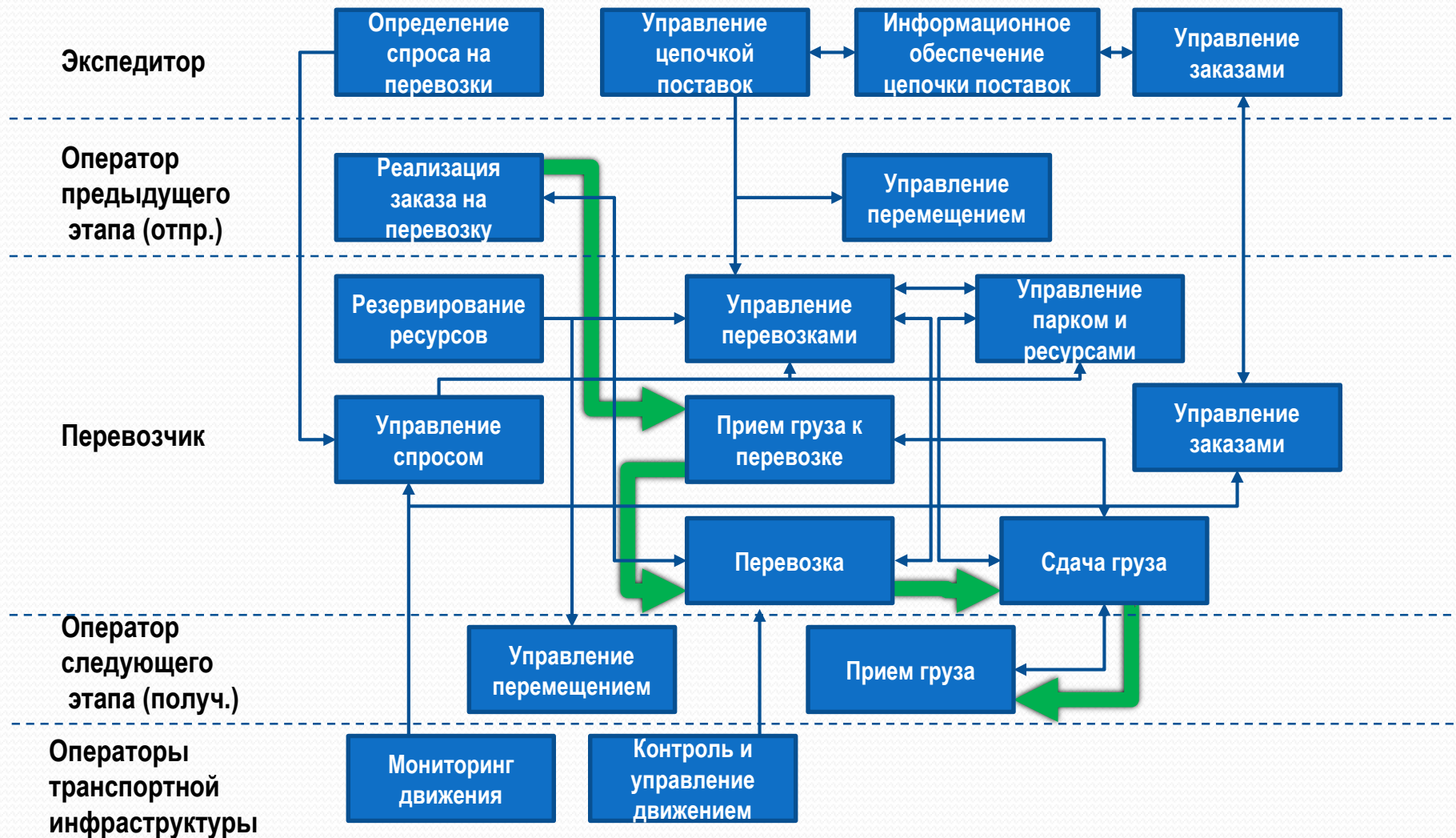
Транспортные процессы

Пример диаграммы процесса



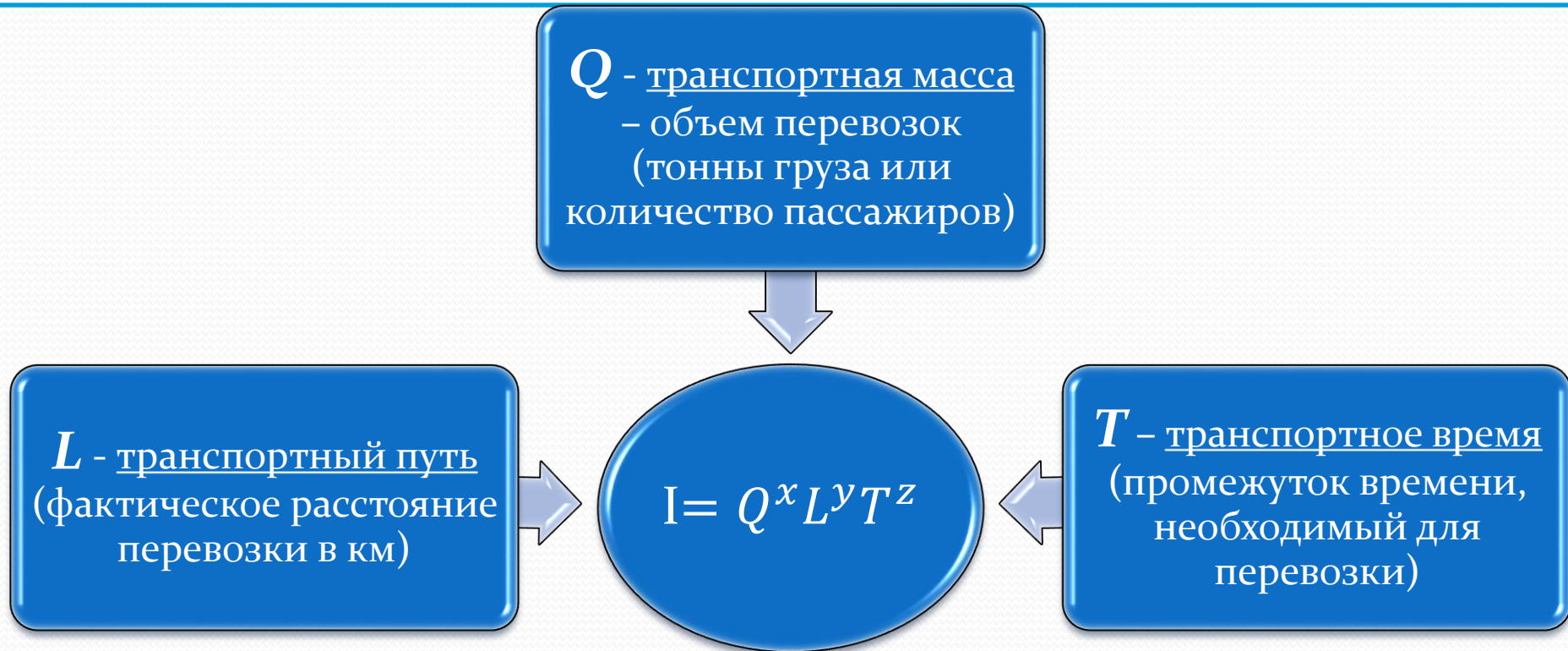
Транспортные процессы

Фрагмент взаимосвязи основных операций в процессе доставки грузов



Транспортные процессы

Количественные измерители транспортных процессов



При $x=0, y=1, z=-1$

$I=L/T$ – скорость перевозки, км/ч

При $x=1, y=0, z=-1$

$I=Q/T$ – грузопоток, т/ч

При $x=1, y=1, z=0$

$I=QL$ – транспортная работа, ткм

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи маршрутизации перевозок и движения транспортных средств

- заключаются в выборе рациональных или оптимальных схем перемещения грузов или пассажиров между конечным числом пунктов. Целевой функцией, которая подлежит минимизации, является сумма произведений объема перевозок q на весовой коэффициент c ,

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m c_{ij} q_{ij} \rightarrow \min.$$

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи загрузки транспортных средств

- определяют номенклатуру, объем и схему размещения груза при перевозке. Сложность задачи повышается, когда кроме объема и массы груза необходимо учитывать условия совместимости грузов (особенно для опасных), последовательность загрузки, неразрывность партий груза, перевозимых по одному документу, и т. д. В качестве целевой функции, как правило, максимизируется доход от перевозки:

$$\sum_{i=1}^n c_i q_i \rightarrow \max.$$

При условиях

$$\sum_j l_j \leq L; \sum_k b_k \leq B; \sum_m h_m \leq H; \sum_i q_i \leq Q,$$

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи составления графиков движения

- возникают при обслуживании технологических процессов производственных предприятий (например, перевозка бетона), выполнении перевозок по технологии «точно в срок», при загрузке или разгрузке транспортных средств на крупных складах и терминалах, пассажирских перевозках.

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

*Задачи
планирования
использования
трудовых и
технических
ресурсов в
транспортном
узле*

- решаются для оптимизации использования общеузловых и специализированных для каждого вида транспорта ресурсов с целью снижения простоев всех видов ресурсов, повышения производительности транспортного узла.

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи планирования работы транспортных предприятий

- затрагивают транспортную (планирование перевозок) и эксплуатационную (выполнение ТО и ТР, использование кадров) деятельность предприятия. В качестве целевой функции выступают суммарные затраты на использование трудовых и технических ресурсов, которые подлежат минимизации.

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи перспективного развития транспорта

- играют особую роль в больших городах. Их решение определяет возможности развития города, строительства новых предприятий и жилых районов.

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи производственно- транспортного планирования

- касаются логистических систем, когда по критерию минимума суммарных затрат на производство и доставку продукции определяется план производства, распределения и складирования готовой продукции при наличии альтернативных источников поставки и потребления взаимозаменяемых изделий.

Исследование транспортных систем

Цели и задачи исследования

Задачи определения оптимальных тарифов

- позволяют максимизировать доход транспортного предприятия за счет проведения той или иной маркетинговой политики.

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование транспортных систем

Модель представляет собой систему, исследование которой служит средством получения информации о другой системе

Материальные

Абстрактные

Знаковые

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Материальные модели отображают оригинал за счет установления между ними определенного подобия. Различают три следующих вида подобия:

- **физическое (прямое)**, при котором модель воспроизводит изучаемый процесс с сохранением изучаемых свойств. Это, например, масштабные модели транспортных средств;
- **косвенное**, проявляющееся в виде совпадения или близости между оригиналом и моделью абстрактных моделей; особенно распространен этот вид подобия в аналоговых моделях: часы – аналог времени, автопилот – аналог летчика, электрические схемы – аналог транспортных потоков и т. п.;
- **условное**, достигаемое в результате соглашений. Это, например, карты местности, удостоверение личности и т. п.

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Абстрактные модели создаются посредством мышления. Различают *внутренние абстрактные модели*, которые отображают механизм мышления и, в конечном счете, выражаются в языковых конструкциях, и *внешние*, предназначенные для коллективной деятельности.

- В свою очередь **внешние** абстрактные модели делят на **иррациональные** (например, театральные спектакли) и **языковые**, которые могут выражаться как на естественном языке, так и в специальной знаковой форме. В последней группе особую роль при технических исследованиях занимают **математические** модели, когда модель представляет собой математическое описание объекта моделирования.

Исследование транспортных систем

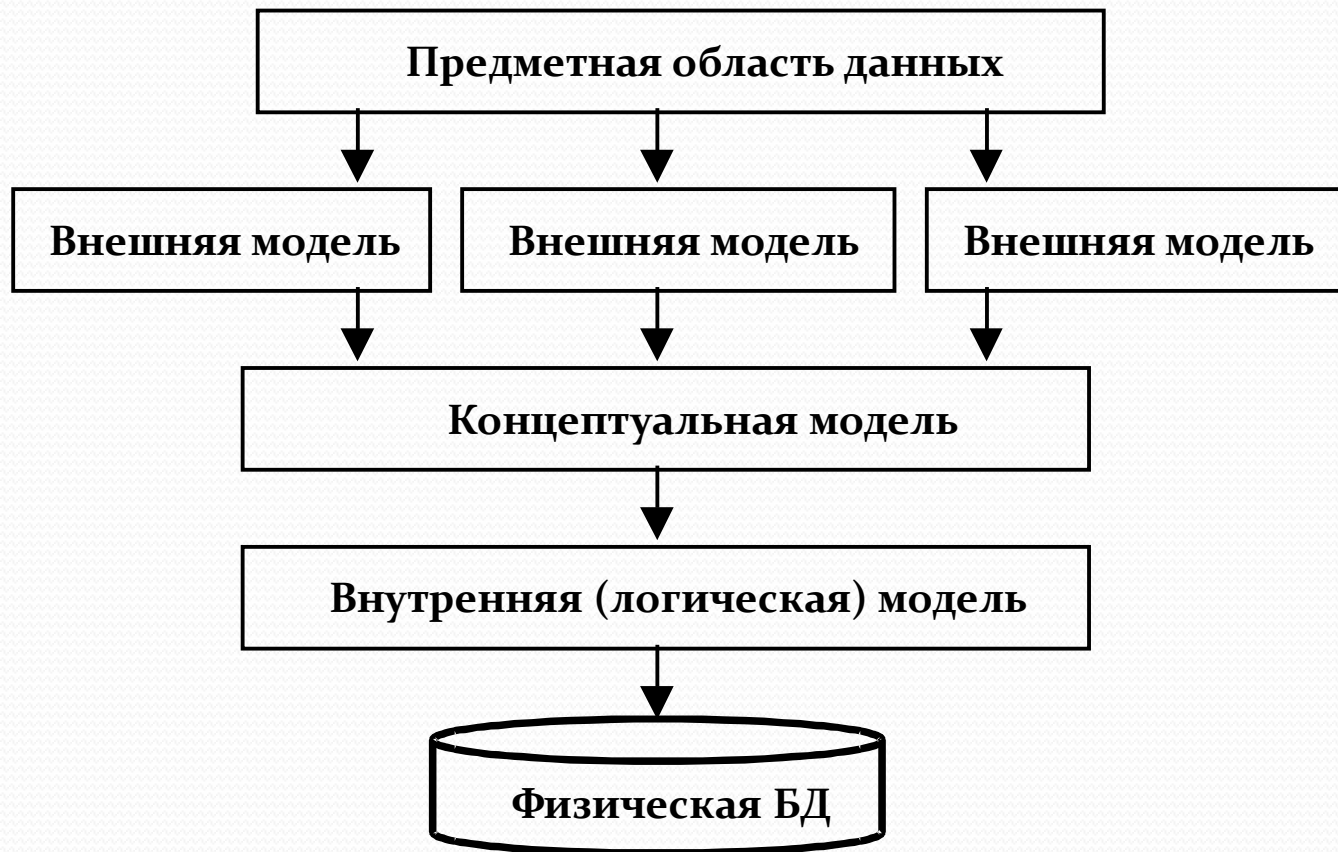
Модели и моделирование

Знаковые модели – это материальные модели с абстрактным содержанием. Среди этой группы моделей в управленческой деятельности наиболее значимы *информационные модели*, или модели данных. Для описания информационной задачи используются три вида представления информационной модели:

- **концептуальное** – охватывающее всю задачу с точки зрения администратора информационной системы, т. е. лица, ответственного в целом за работу модели;
- **внешнее** – отражающее представление о задаче с точки зрения конкретного пользователя, т. е. лица, решающего узкую задачу работы системы на конкретном рабочем месте.
- **внутреннее** – отражающее представление об информационной задаче разработчика с учетом особенностей и возможностей конкретной СУБД и компьютеров, на которых будет реализовываться решаемая задача.

Исследование транспортных систем


Виды представления информационной модели



Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Необходимыми и достаточными **признаками модели** являются следующие условия:



между моделью и оригиналом имеется отношение сходства, форма которого явно выражена и точно зафиксирована (условие отражения);

модель в процессе научного познания является заместителем изучаемого объекта (условие репрезентативности);

изучение модели позволяет получить информацию (сведения) об оригинале (условие экстраполяции).

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Две системы объектов с определенными для них свойствами и отношениями называются изоморфными, если между ними установлено такое взаимно-однозначное соответствие, что соответствующие друг другу объекты обладают соответствующими свойствами и находятся в соответствующих отношениях между собой.

Гомоморфизм сохраняет все определенные для исходной системы свойства и отношения только в одну сторону: от моделируемого объекта к его модели. При этом модель может использовать и существенно более сложные отношения, если это обеспечивает упрощение исследований.

Таким образом, система объектов A будет моделировать систему объектов B , если некоторый гомоморфный образ A и некоторый гомоморфный образ B изоморфны между собой. Согласно этому определению моделям должны быть присущи следующие свойства:

- **рефлексивность** – любая система есть своя собственная модель;
- **симметричность** – любая система есть модель каждой своей модели;
- **транзитивность** – модель модели есть модель исходной системы.

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Процесс исследования системы с помощью ее модели можно разбить на ряд этапов:

- 1) формулировка общей задачи для определения объекта исследований. Формулировка требований к исходным данным. Изучение свойств моделируемого объекта;
- 2) создание модели. Результаты эмпирических исследований переводятся со специфического языка исследуемого объекта на универсальный математический язык, выбирается схема модели, вводятся основные переменные, параметры и функциональные зависимости. Для полученной модели выбираются соответствующие методы ее анализа. При необходимости производится упрощение модели. Она не должна утратить существенных специфических черт исследуемого объекта и в то же время попасть под класс структур, уже изученных математикой;
- 3) математический анализ модели. Качественные выводы позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства системы: динамику развития, устойчивость к внешним факторам и т. п. Количественные выводы позволяют получить оптимальные планы работы системы и ее объектов, прогноз изменения показателей системы;
- 4) проверка полученных результатов. Она обычно проводится на экспертном уровне или на основе анализа работы подобных систем и/или объектов;
- 5) внедрение модели в систему управления. Оно требует ее реализации в удобной для использования форме. В основном – это специальная компьютерная программа, интегрированная в общую информационную систему объекта управления

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование



Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Системное моделирование

атрибутивное, направленное на систематизацию информации о свойствах объектов

структурное, обеспечивающее представление структуры объекта или процесса моделирования

организационное, предполагающее изучение организации системы

функциональное, ориентированное на построение и исследование функций изучаемого явления

структурно-функциональное, ставящее своей целью исследование взаимосвязи структуры и функции изучаемого объекта или процесса

витальное, направленное на представление и изучение тех или иных этапов жизненного пути системы

Исследование транспортных систем

Этапы процесса исследования систем с помощью моделей

формулировка общей задачи для определения объекта исследований. Формулировка требований к исходным данным. Изучение свойств моделируемого объекта;

создание модели: выбирается схема модели, вводятся основные переменные, параметры и функциональные зависимости.

математический анализ модели: динамика развития, устойчивость к внешним факторам, оптимальные планы работы системы и ее объектов, прогноз изменения показателей системы;

проверка полученных результатов. Она обычно проводится на экспертном уровне или на основе анализа работы подобных систем и/или объектов

внедрение модели в систему управления требует ее реализации в удобной для использования форме. В основном – это специальная компьютерная программа, интегрированная в общую информационную систему объекта управления.

Исследование транспортных систем

Классификация математических моделей



Аналитические модели представляют явные выражения выходных параметров как функций входных и внутренних параметров.

Численные модели выражают связи выходных параметров в форме численного алгоритма.

Имитационные модели отражают поведение объекта во времени и пространстве при задании внешних воздействий на объект.

Комбинированные модели объединяют достоинства вышеперечисленных моделей

Исследование транспортных систем

Модели и моделирование

Системное моделирование представляет собой совокупность конкретных разновидностей моделирования, наиболее важные из них:

- атрибутивное, направленное на систематизацию информации о свойствах объектов. При этом используются различного рода классификации, матрицы, таблицы, которые позволяют систематизировать свойства объектов, выделить главные и второстепенные;
- структурное, обеспечивающее представление структуры объекта или процесса моделирования;
- организационное, предполагающее изучение организации системы;
- функциональное, ориентированное на построение и исследование функций изучаемого явления;
- структурно-функциональное, ставящее своей целью исследование взаимосвязи структуры и функции изучаемого объекта или процесса;
- витальное, направленное на представление и изучение тех или иных этапов жизненного пути системы.

Исследование транспортных систем

Модели спроса на транспортное обслуживание

Удовлетворение спроса на транспортное обслуживание является основной целью транспортной системы. Соответствие возможностей транспортной системы и спроса на ее услуги определяется сбалансированностью спроса и мощностей транспортной системы.

Условие сбалансированности будет выполняться, если для любого θ , принадлежащего периоду t_1, t_2 , выполняется следующее условие:

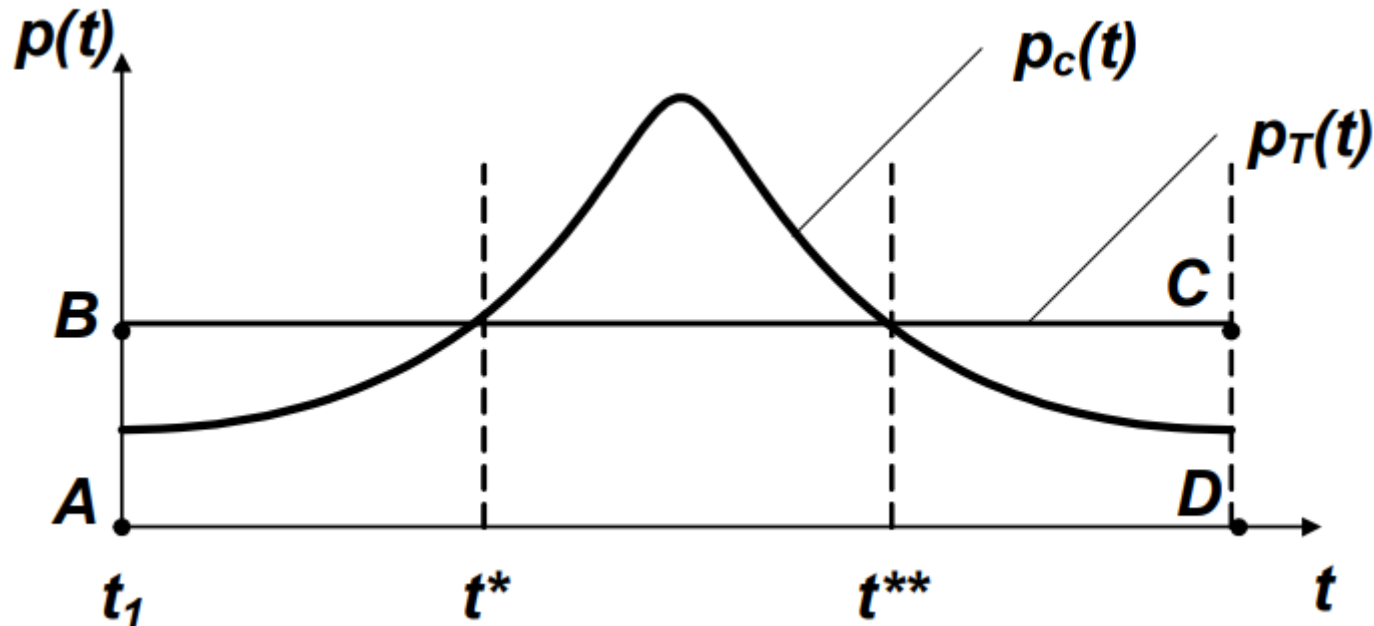
$$\int_{\ominus}^{t_2} p_c(t) dt \leq \int_{\ominus}^{t_2} p_T(t) dt,$$

где $p_c(t)$ – плотность заявок на транспортные услуги в момент t ;
 $p_T(t)$ – потенциал транспортной системы, обеспечивающий их удовлетворение.

Исследование транспортных систем

Модели спроса на транспортное обслуживание

В соответствии с приведенным выше условием спрос и возможности транспортной системы сбалансированы, если, как показано на рисунке, площадь под кривой совпадает с площадью прямоугольника $ABCD$ и при этом отсутствуют периоды, когда транспортная система простаивает.



Исследование транспортных систем

Модели спроса на транспортное обслуживание

В процессе определения спроса можно выделить 4 основных этапа, составляющих традиционную для транспортных исследований четырехшаговую процедуру определения спроса:

определение необходимости транспортировки и ее цели (генерация поездок);

определение места завершения транспортировки (распределение поездок по зонам);

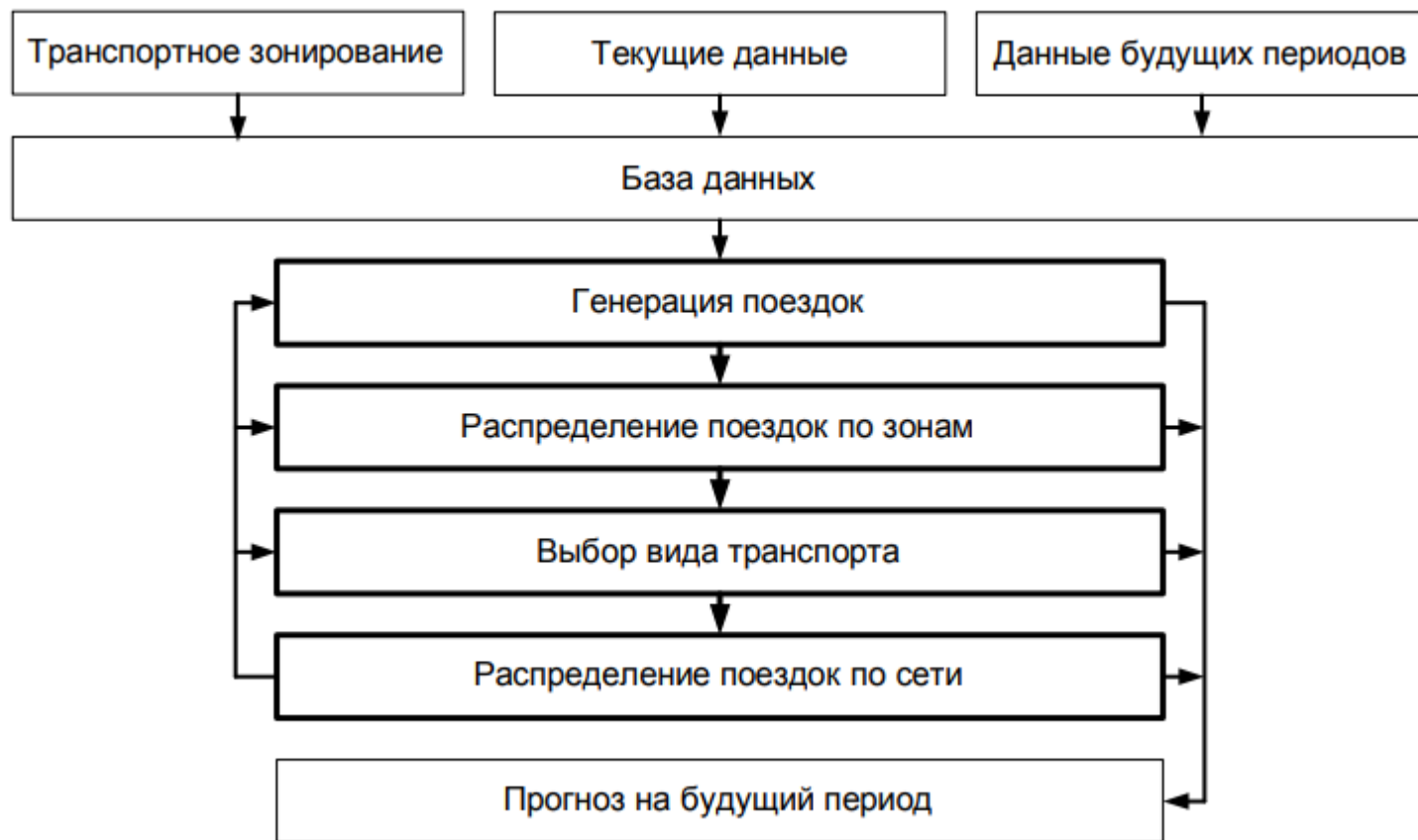
выбор способа транспортировки (вид транспорта и технология перевозок);

выбор маршрута движения (распределение поездок по сети).

Исследование транспортных систем

Модели спроса на транспортное обслуживание

Структура классической четырехшаговой транспортной модели



Исследование транспортных систем

Классификация задач моделирования корреспонденций

Генетические факторы	Топологические факторы	
	Сильно дискретное потребительское поле, корреспонденции планируют изолированно	Слабо дискретное потребительское поле, корреспонденции планируют с учетом взаимовлияния
Детерминированный характер транспортных связей	<u>Класс 1.</u> Задачи отыскания оптимальных транспортных связей	<u>Класс 3.</u> Задачи распределения поездок по сети с учетом детерминированного спроса
Вероятностный характер транспортных связей	<u>Класс 2.</u> Задачи планирования отдельных транспортных связей с учетом вероятностных факторов спроса на перевозки	<u>Класс 4.</u> Задачи распределения поездок по сети с учетом поведенческих гипотез

Исследование транспортных систем

Классификация задач моделирования корреспонденций

К задачам **класса 1** относятся практически все задачи планирования грузовых перевозок. Этот класс задач относится к задачам распределения, так как процесс формирования корреспонденций может быть представлен как централизованно управляемый.

Задачи **класса 2** возникают при планировании пассажирских перевозок в пригородном и дальнем сообщениях на различных видах транспорта, а также при планировании грузовых перевозок на перспективу. Модели этого класса статистические самых разных видов.

К **классу 3** можно отнести задачи определения трудовых корреспонденций в региональных транспортных системах, когда точно известны места приложения труда, их емкости и размещение потенциальных кадров на перспективу.

К задачам **класса 4** относится прежде всего формирование пассажирских корреспонденций по всем видам поездок, включая культурно-бытовые и рекреационные поездки. При этом определяющую роль играют вероятностные факторы коллективного поведения.