



Лаборатория
методов оптимизации
и искусственного интеллекта

Проектирование транспортной системы хабов для перевозок грузовых вагонов

Подтверждение концепта

21.06.2023



ОПИСАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ПРОЕКТА

Базовые определения

Хаб – железнодорожная станция, на которой производится переформирование грузовых составов и осуществляется промежуточное хранение вагонов.

Транспортная система хабов – транспортная сеть в рамках которой работы по перемещению вагонов в пункт назначения организованы через последовательное использование нескольких грузовых составов, которые формируются в хабах.

Цель работы

Разработка и реализация тестовых точных моделей для проектирования эффективной транспортной системы хабов с целью снижения затрат на выполнение заказов по перемещению грузовых вагонов

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ



МНОЖЕСТВО ЗАДАНИЙ

- пункты отправления / прибытия
- группа вагонов
- время готовности и дедлайн



МНОЖЕСТВО ЛОКОМОТИВОВ

- гомогенный «парк»



ТРЕБУЕТСЯ

- спроектировать эффективную транспортную систему хабов
- сформировать оптимальный план работы локомотивов по перемещению вагонов с использованием транспортной системы хабов (при максимальном количестве выполненных заданий минимизировать затраты)



ИНФРАСТРУКТУРА

- сеть железнодорожных путей
- затраты на перемещение



МНОЖЕСТВО ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ХАБОВ

- расположение
- вместимость
- затраты на размещение

КОЛЛЕКЦИЯ МОДЕЛЕЙ

1. ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ С ХАБАМИ

- I. Выбор хабов на долгосрочный горизонт планирования
- II. Составление расписания работ локомотивов на краткосрочный и среднесрочный период

2. БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ РАБОТ ЛОКОМОТИВОВ БЕЗ ХАБОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СТЕК



WOLFRAM

генерация данных и реализация моделей



поиск глобального оптимума

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ



МНОЖЕСТВО ЗАДАНИЙ

- пункты отправления / прибытия
- идентификатор вагона
- время готовности и дедлайн



МНОЖЕСТВО ЛОКОМОТИВОВ

- гомогенный «парк»



ИНФРАСТРУКТУРА

- сеть железнодорожных путей
- затраты на перемещение



ТРЕБУЕТСЯ

- назначить задания на перемещение грузовых вагонов для локомотивов
- определить время выполнения работ и маршруты локомотивов



КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ

- максимизация количества выполненных заданий
- минимизация затрат

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: АЛГОРИТМ

ГРАФ ЗАДАНИЙ

1. Задания, у которых совпадают пункты отправления и назначения, объединяются в группы.
2. Пара вершин-заданий в группе является смежной, если:

$$\max(\text{ready}_1, \text{ready}_2) + \text{time}(\text{origin}, \text{destination}) \leq \min(\text{deadline}_1, \text{deadline}_2)$$

Предположения

- при выполнении объединенных заданий в грузовом составе число и порядок вагонов неизменны;
- некоторые задания могут быть выполнены одновременно

Подход

- формулировка задачи в виде $mTSPTW$

Метод

- решение задачи смешанного программирования при помощи метода ветвей и сечений

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: АЛГОРИТМ

ГРАФ ЗАДАНИЙ

1. Задания, у которых совпадают пункты отправления и назначения, объединяются в группы.
2. Пара вершин-заданий в группе является смежной, если:

$$\max(\text{ready}_1, \text{ready}_2) + \text{time}(\text{origin}, \text{destination}) \leq \min(\text{deadline}_1, \text{deadline}_2)$$

выезд по готовности к перевозке двух заданий и перемещение до станции доставки – не нарушит дедлайны

Предположения

- при выполнении объединенных заданий в грузовом составе число и порядок вагонов неизменны;
- некоторые задания могут быть выполнены одновременно

Подход

- формулировка задачи в виде $mTSPTW$

Метод

- решение задачи смешанного программирования при помощи метода ветвей и сечений

БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: АЛГОРИТМ

МАРШРУТИЗАЦИЯ

1. Если компонента связности – клика, то соответствующие задания могут быть отправлены одним составом.
2. Задача формулируется как задача нескольких коммивояжеров с временными окнами.

Предположения

- при выполнении объединенных заданий в грузовом составе число и порядок вагонов неизменны;
- некоторые задания могут быть выполнены одновременно

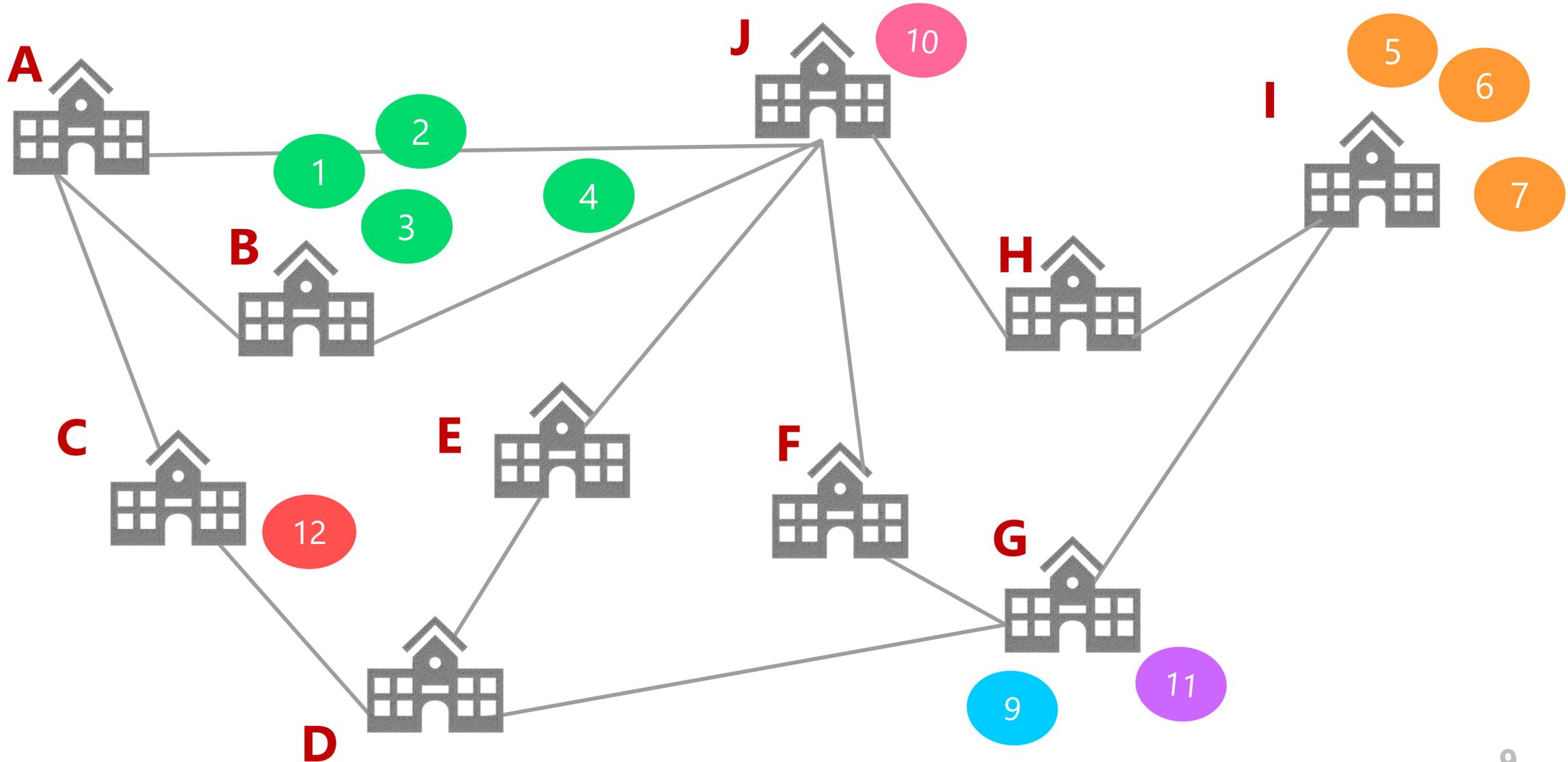
Подход

- формулировка задачи в виде $mTSPTW$

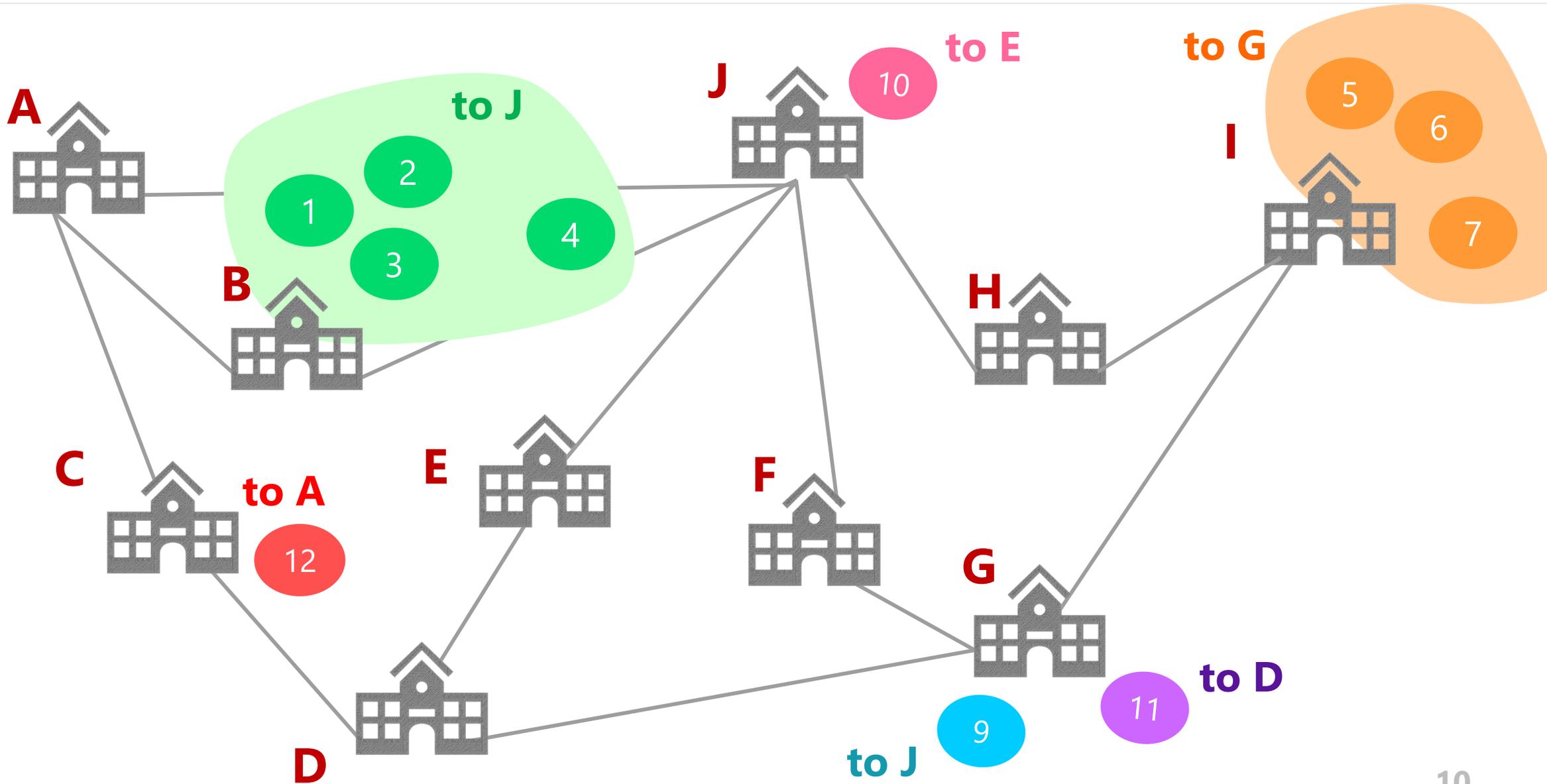
Метод

- решение задачи смешанного программирования при помощи метода ветвей и сечений

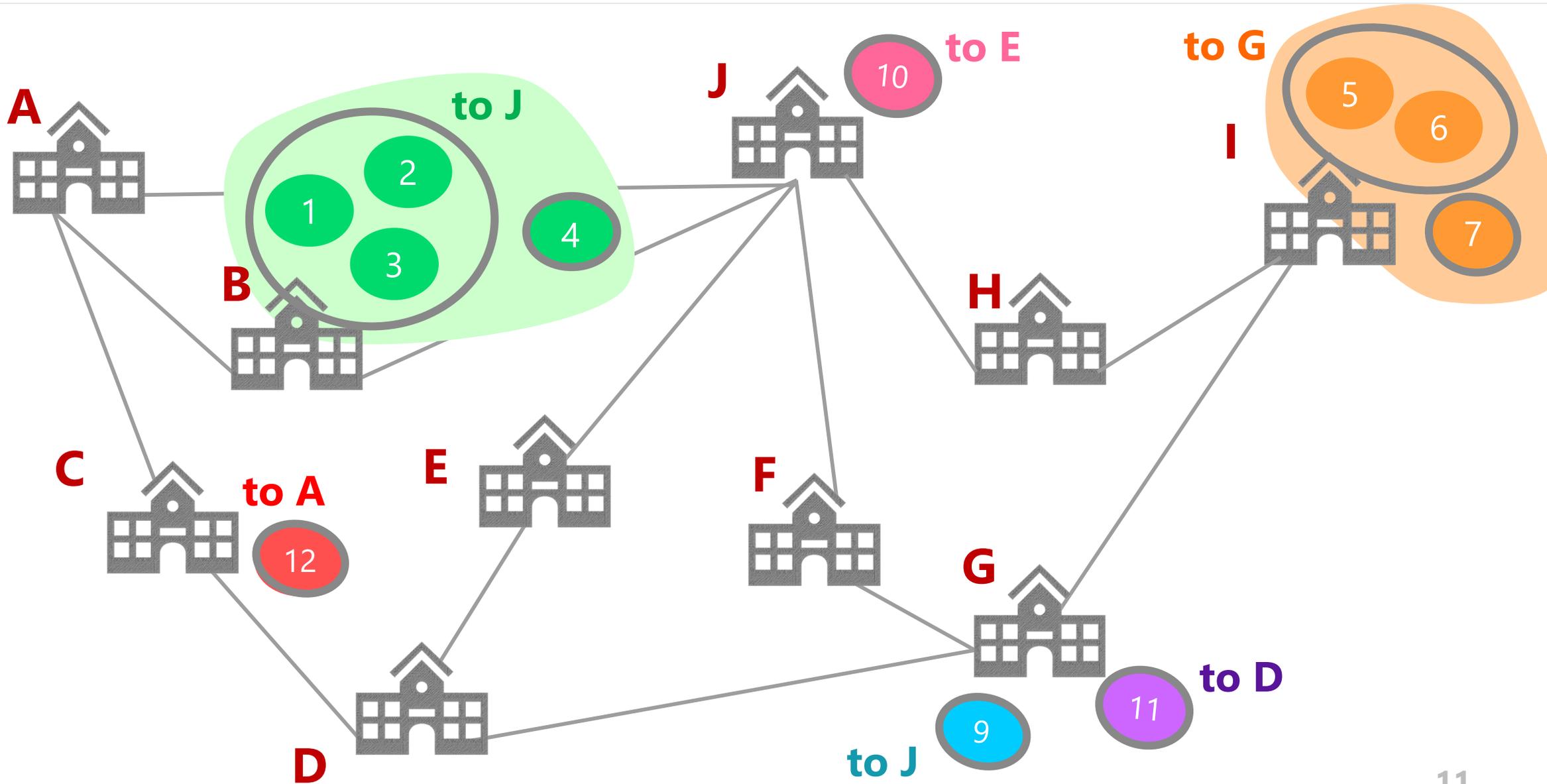
БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



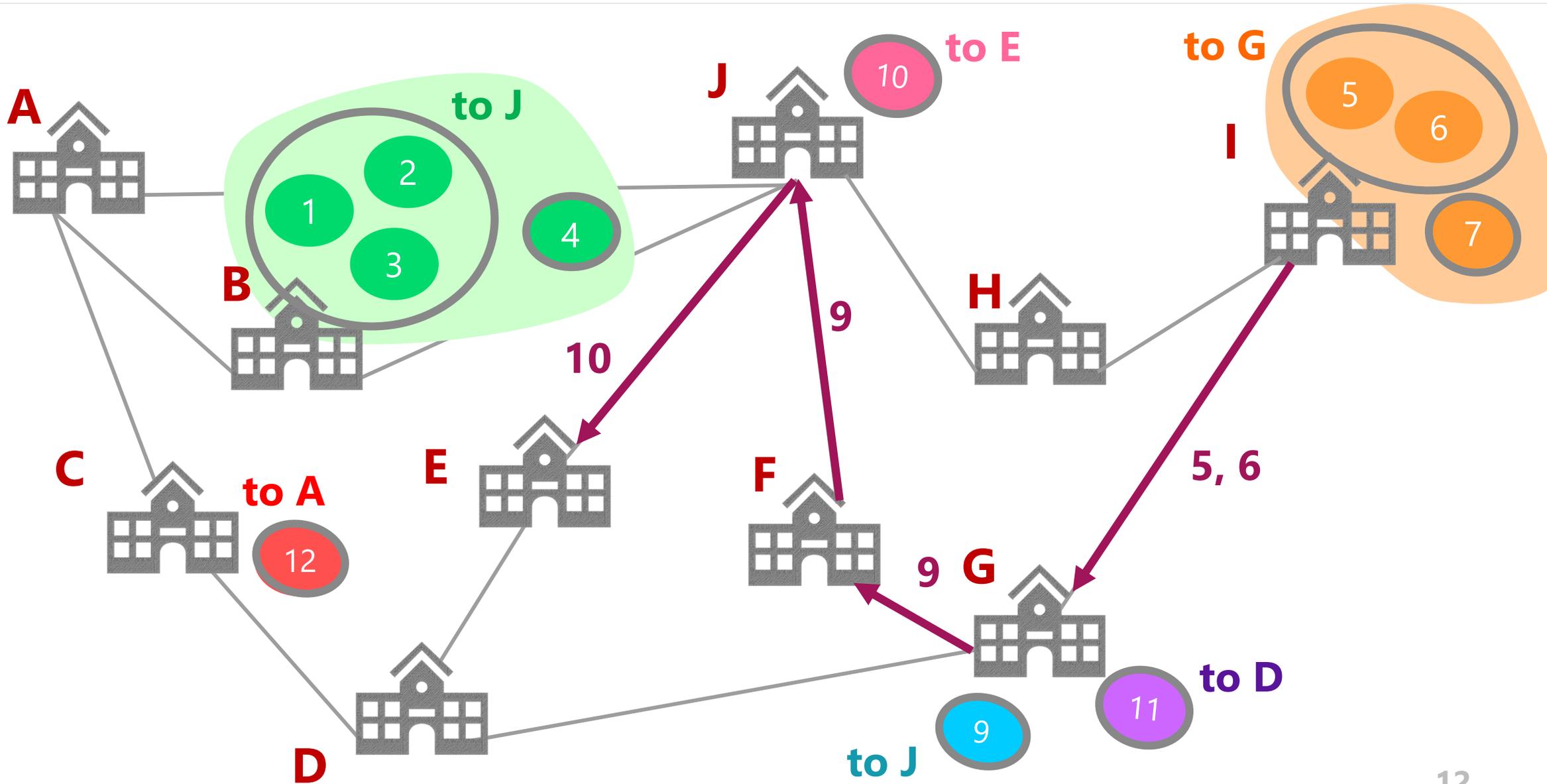
БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



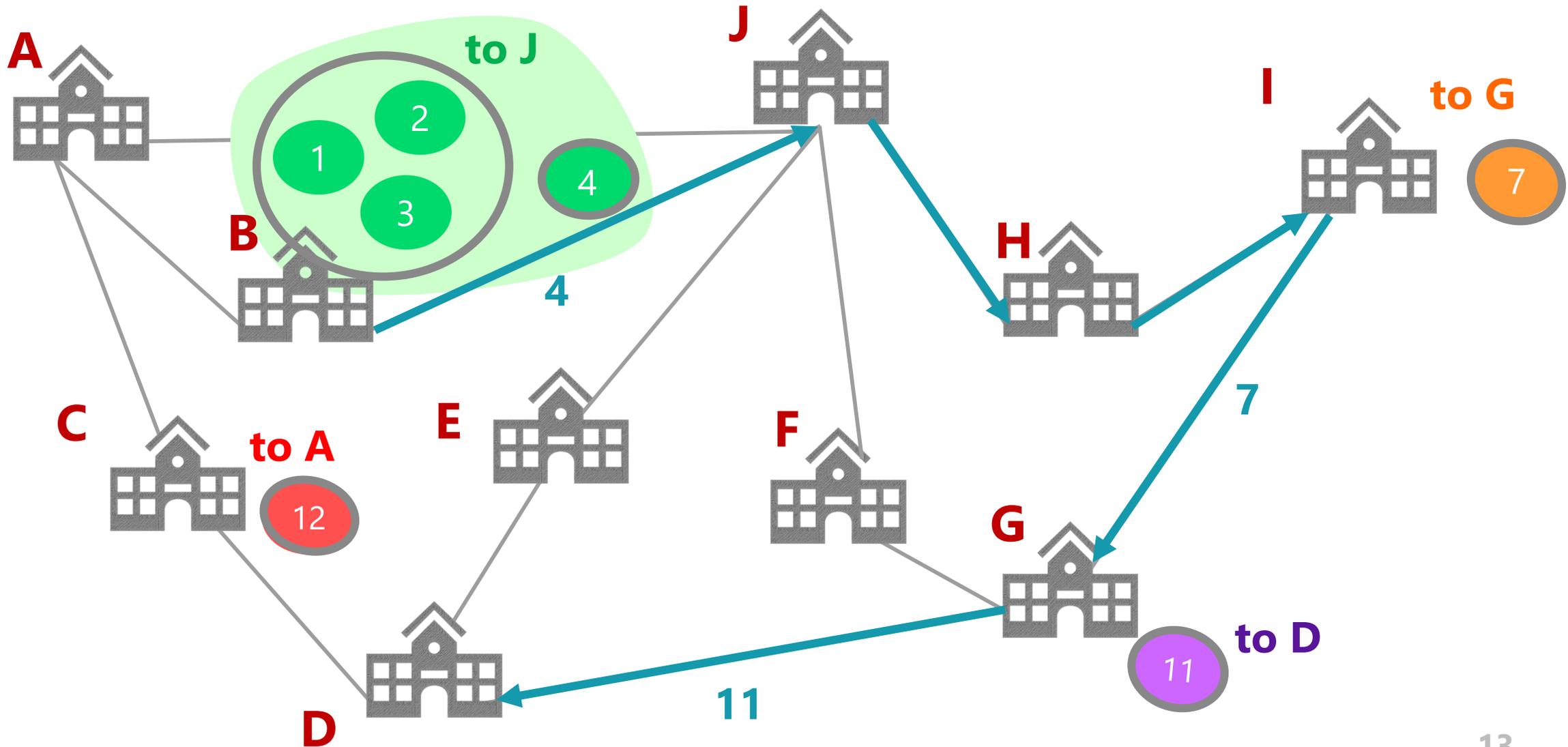
БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



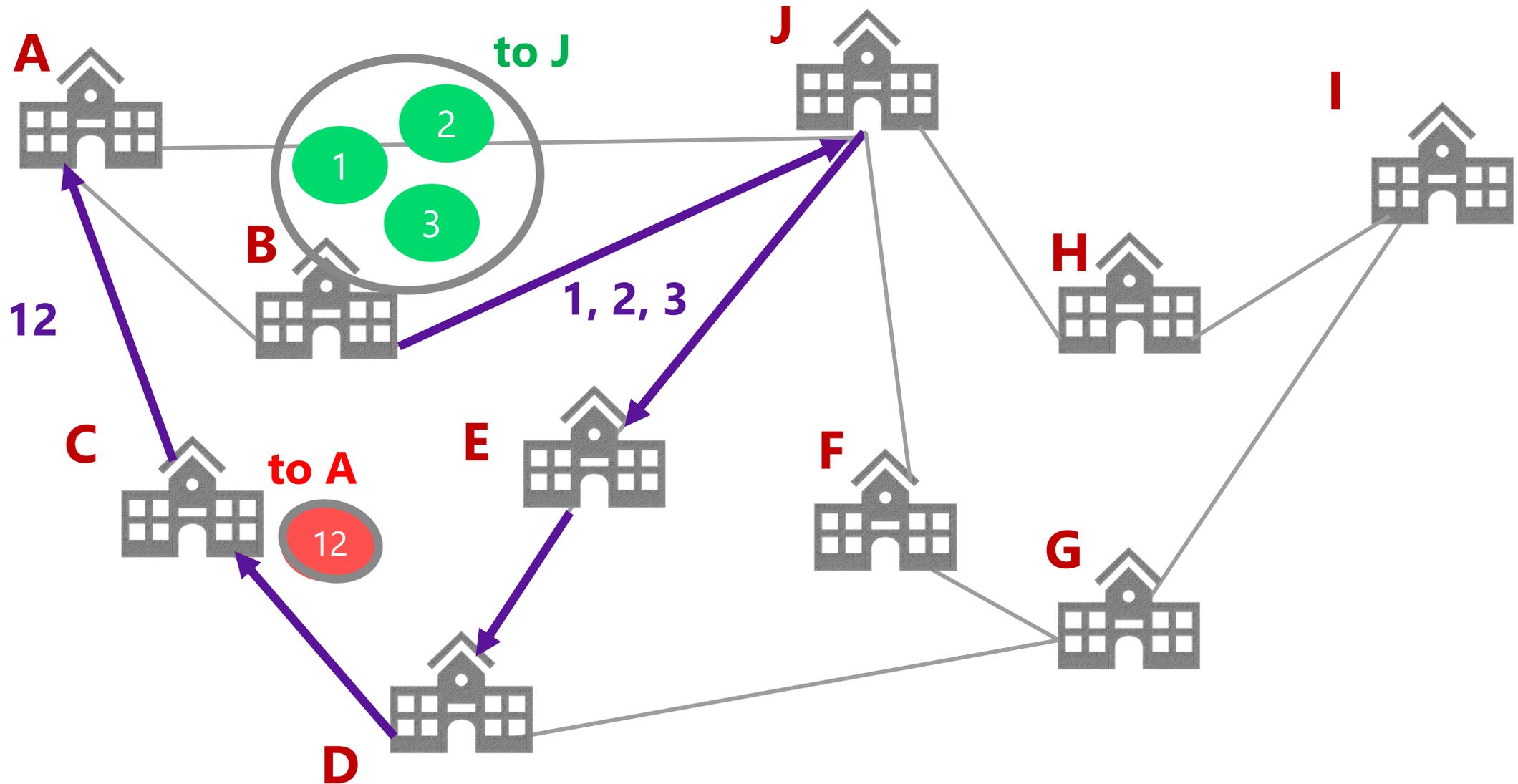
БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



БАЗОВАЯ МОДЕЛЬ: ВИЗУАЛИЗАЦИЯ



ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ: ВЫБОР ХАБОВ (ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ)



МНОЖЕСТВО ЗАДАНИЙ

- пункты отправления / прибытия
- идентификатор вагона
- время готовности и дедлайн



ИНФРАСТРУКТУРА

- сеть железнодорожных путей
- затраты на перемещение



МНОЖЕСТВО ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ХАБОВ

- расположение
- вместимость
- затраты на размещение



ТРЕБУЕТСЯ

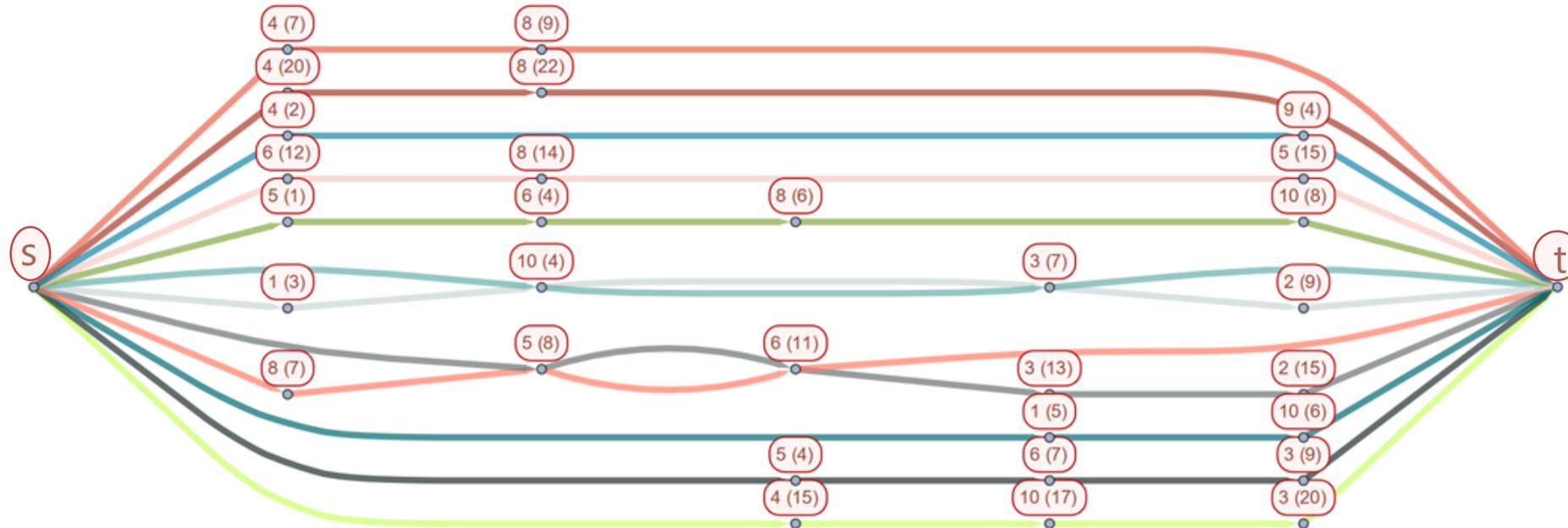
- выбрать хабы
- выполнить задания
- найти варианты «слияния» разных заданий на участках маршрутов



КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ

- минимизация затрат на перемещение грузовых составов
- минимизация затрат за размещение хабов

ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ: ВЫБОР ХАБОВ (ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ)



Предположения

- для перемещение вагонов не используются локомотивы
- слияние и разъединения заданий возможно только на хабах

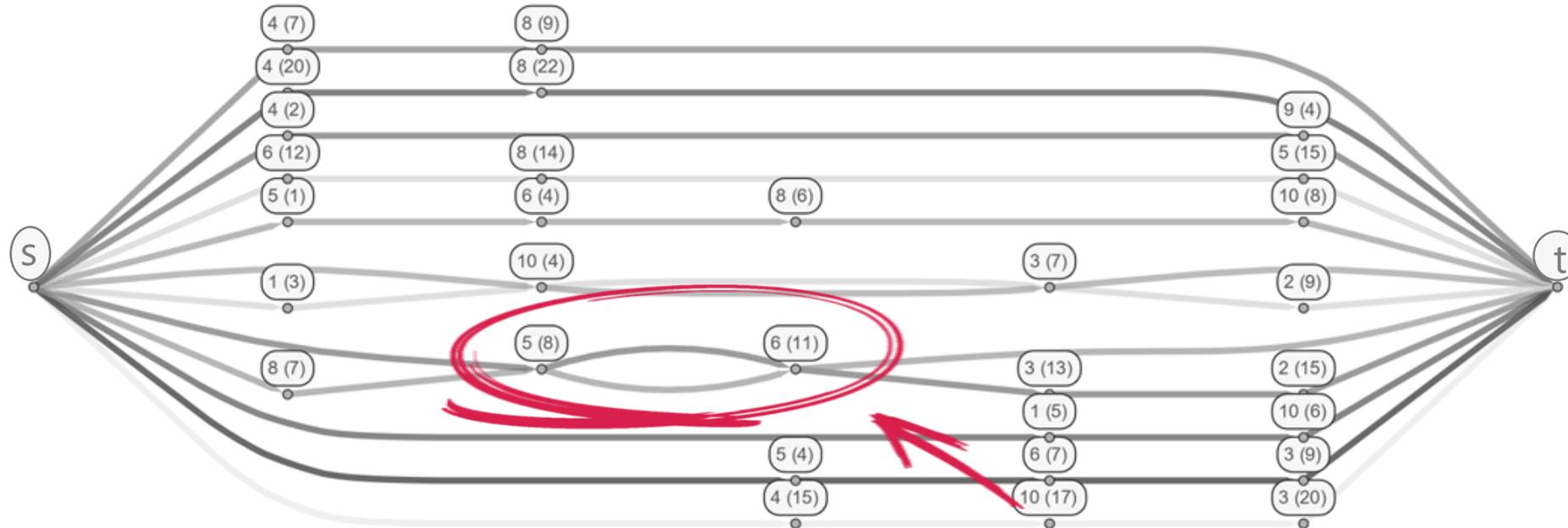
Подход

- сведение задачи к *потокковой*

Метод

- решение задачи смешанного программирования при помощи метода ветвей и сечений

ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ: ВЫБОР ХАБОВ (ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ)



Предположения

- для перемещение вагонов не используются локомотивы
- слияние и разъединения заданий возможно только на хабах

Подход

- сведение задачи к потоковой

Метод

- решение задачи смешанного программирования при помощи метода ветвей и сечений

ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ: МАРШРУТИЗАЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ



МНОЖЕСТВО ЗАДАНИЙ

- пункты отправления / прибытия
- идентификатор вагона
- время готовности и дедлайн



МНОЖЕСТВО ЛОКОМОТИВОВ

- гомогенный «парк»



ИНФРАСТРУКТУРА

- сеть железнодорожных путей
- **хабы**
- затраты на перемещение



ТРЕБУЕТСЯ

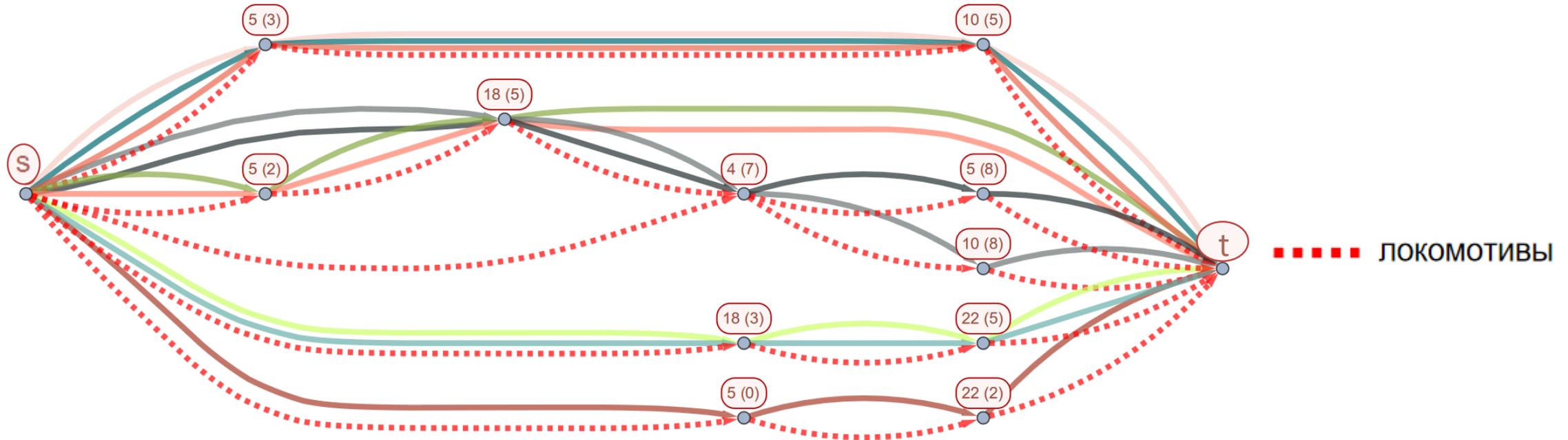
- сформировать расписание работ локомотива
- для каждого локомотива в каждый момент времени известно, где он находится и какие операции над вагонами выполняет



КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ

- максимизация количества выполненных заданий
- минимизация затрат на выполнение работ с учетом скидки от длины грузового состава

ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ: МАРШРУТИЗАЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ



Предположения

- не учтены временные затраты на переформирование состава
- нет поломок, прохождения ТО и т.п.

Подход

- задача маршрутизации в парадигме spoke-hub

Метод

- решение задачи смешанного программирования при помощи метода ветвей и сечений

ДВУХФАЗНАЯ МОДЕЛЬ: МАРШРУТИЗАЦИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Локомотив	Время	Действие
Локомотив 1	3	Взял вагоны 1, 3 и 4 со станции 5.
	5	Доставил вагоны 1, 3 и 4 на станцию 10. Задания выполнены 1, 3 и 4 выполнены.
Локомотив 2	2	Взял вагоны 2 и 6 со станции 5.
	5	Доставил вагоны 2 и 6 на станцию 18. Задания 2 и 6 выполнены. Взял вагоны 8 и 5 со станции 18.
	7	Доставил вагоны 8 и 5 на станцию 4. Отцепил вагон 5.
	8	Доставил вагон 8 на станцию 5. Задание 8 выполнено.
Локомотив 3	7	Взял вагон 5 со станции 4.
	8	Доставил вагон 5 на станцию 10. Задание 5 выполнено.
Локомотив 4	3	Взял вагоны 7 и 9 со станции 18.
	5	Доставил вагоны 7 и 9 на станцию 22. Задания 7 и 9 выполнены.
Локомотив 5	0	Взял вагон 10 со станции 5.
	2	Доставил вагон 10 на станцию 5. Задание 10 выполнено.

ПРИМЕР РАСЧЕТОВ

	Без хабов	С хабами
Затраты	8132	9625
Выполненные задания	8 из 10	10 из 10
Задействованные ЛОКОМОТИВЫ	8 из 8	5 из 8
Время расчётов	2 сек	164 сек

ПЛАНЫ: МАСШТАБИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ

Описание бизнес-процесса

Учет реальных особенностей
и условий задачи

Неточные алгоритмы

Использование значительных
вычислительных мощностей для расчетов
по неточным алгоритмам