ТРАНСПОРТНАЯ МОДЕЛЬ ТАШКЕНТА

Время начала занятий как управляемый фактор заторной загрузки улично-дорожной сети

Инвентаризация 1 041 образовательного учреждения и 1 060,5 тыс. обучающихся очной формы · укрупнённый граф УДС · оптимизация ступенчатого графика старта

1 041
учреждение в инвентаризации

7 586
звеньев УДС в расчётном графе

18 → 8
перекрёстков с перегрузкой по рекомендуемому графику

−22,3 %
потока на звеньях в пиковом интервале

Ташкент · 2026 · расчёт по данным открытых источников

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Учебный пик — треть города в одном получасе

Утренний максимум складывается из трудовых, учебных и сопроводительных поездок. Учебная составляющая отличается тем, что её время назначается административно: менять места приложения труда и маршруты не нужно.

1 041

образовательное учреждение: дошкольные, школы, колледжи, вузы

1 060,5

тыс. обучающихся очной формы обучения

34,1 %

населения города (3 112,7 тыс. человек)

209 тыс.

автомобильных поездок в сутки; автомобилизация 0,197

Действующее расписание сводит 68,3 % контингента к старту в 08:00. Индекс концентрации Херфиндаля — Хиршмана по времени начала занятий — 0,559 при 0,071 для равномерного распределения по 15-минутным интервалам: спрос собран в узком окне не по объективным причинам, а по инерции единого расписания.

КОНТЕКСТ РЕШЕНИЯ

Регулирование уже применялось — без расчёта

Шаг 1

Школы и вузы сведены к единому старту в 08:00

Концентрация спроса в интервале 07:45–08:00, очередь на радиальных въездах.

Шаг 2

Вузы перенесены на 09:00, часть колледжей — на 08:30

Вузовский поток лёг на трудовой пик 08:45: перегруженных перекрёстков стало 18 вместо 10.

Шаг 3

Обсуждается очередной перенос начала занятий в вузах

Аргументы качественные: «станет свободнее», «студенты не успевают». Расчёта нет.

Публичной количественной оценки нет ни на русском, ни на английском, ни на узбекском: отсутствуют инвентаризация контингента, модель распределения учебных корреспонденций и сопоставление вариантов расписания.

ДАННЫЕ

Инвентаризация: 1 041 учреждение, 1 060,5 тыс. обучающихся

Уровень образования	Учреждений, ед.	Контингент, тыс. чел.	Доля контингента, %	Доля авто-поездок	Автопоездок в сутки, тыс.
Дошкольные организации	443	162,1	15,3	0,28	45,4
Школы	435	562,1	53,0	0,22	123,7
Колледжи и техникумы	89	13,6	1,3	0,10	1,4
Вузы (включая филиалы)	74	322,7	30,4	0,12	38,7
Итого	**1 041**	**1 060,5**	**100**	**0,197**	**209,1**

Учтена только очная форма: она формирует ежедневные поездки к фиксированному времени, заочники в утреннем пике не участвуют. Для школ и вузов контингент опирается на официальную статистику, для дошкольных организаций и колледжей точность оценивается в ±10 % и проверена в анализе чувствительности.

1,06 млн обучающихся — это 34,1 % жителей. Расписание занятий — не отраслевое решение, а мера городского масштаба.

ДАННЫЕ

Неоднородность по районам: где контингент плотнее

Район	Население, тыс.	Школьников, тыс.	Школ, ед.	Всего учреждений	Школьников на 1000 жителей
Юнусабад	385,2	72,5	51	120	188
Мирзо Улугбек	337,1	65,4	57	139	194
Олмазор	412,0	64,5	47	110	157
Учтепа	301,7	61,7	39	92	205
Чилонзор	276,7	57,2	48	125	207
Шайхантахур	369,6	52,3	48	106	142
Яшнабад	309,7	52,0	46	107	168
Сергели	173,2	41,4	23	50	239
Мирабад	154,2	33,8	27	70	219
Янгихаёт	188,2	25,7	17	36	137
Яккасарай	139,7	22,0	24	67	158
Бектемир	65,5	13,5	8	19	206
Всего по городу	**3 112,7**	**562,1**	**435**	**1 041**	**181**

Разброс обеспеченности — от 137 (Янгихаёт) до 239 (Сергели) школьников на 1000 жителей, то есть в 1,7 раза. Плотность контингента, а не людность района, определяет, где учебный пик складывается с трудовым.

ДАННЫЕ

Действующее расписание и концентрация спроса

Группа	Контингент, тыс.	Начало занятий	Доля в интервале 08:00–08:15, %	Допустимый сдвиг, мин
Дошкольные организации	162,1	08:00	15,3	−60…+30
Школы, группа 1 (45 %)	253,0	08:00	23,9	−60…+30
Школы, группа 2 (55 %)	309,1	08:00	29,1	−45…+15
Колледжи и техникумы	13,6	08:30	—	−30…+30
Вузы	322,7	09:00	—	−30…+120

КОНЦЕНТРАЦИЯ

68,3 %

контингента стартует в 08:00

0,559

индекс Херфиндаля — Хиршмана

0,071

значение при равномерном распределении

Асимметрия допустимых сдвигов определяет задачу: вузы можно сдвигать позже, школы — почти нет, поскольку поздний старт переносит учебную поездку на время, когда родители уже должны быть на работе.

МЕТОДИКА

Укрупнённая транспортная модель города

Сеть

4 903 узла, 7 586 звеньев, 829 км улиц — УДС Ташкента по OpenStreetMap. Пропускная способность звеньев назначена по числу полос и типу улицы.

Спрос

Гравитационная модель корреспонденций по 12 районам, 15-минутные интервалы. Профиль прибытия — за 10–15 минут до начала занятий.

Задержки

Перегоны — функция BPR со степенью 4; перекрёстки — формула Уэбстера с поправкой на перегрузку. На узлы приходится 96–98 % задержек.

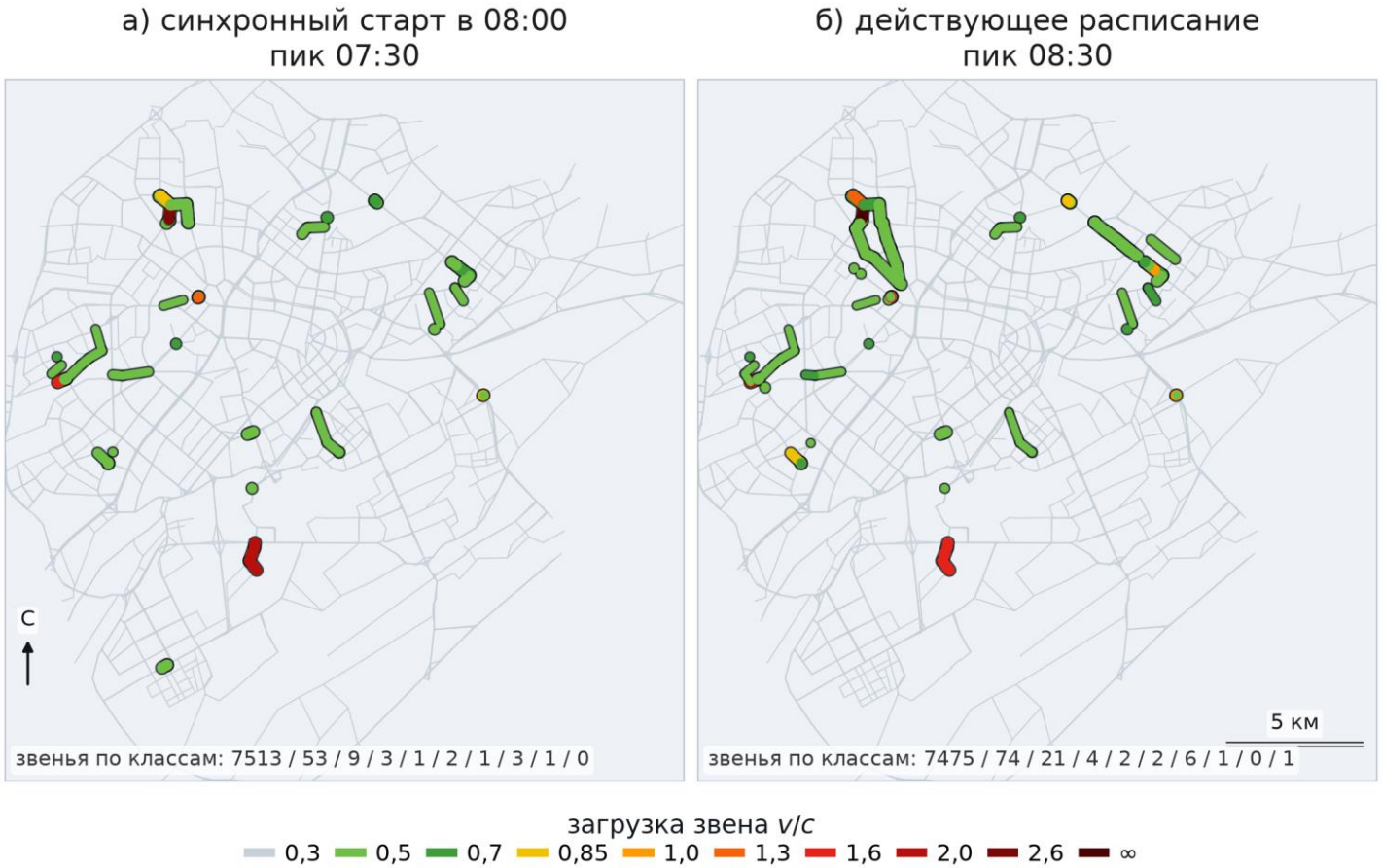
Критерий

Не суммарные задержки, а число заторовых мест: перекрёстки с $d > 2d_o$, звенья с $v/c > 1$ и суммарный избыток загрузки Q сверх единицы.

Оптимизация — перебор по сетке допустимых стартов с шагом 15 минут с полным пересчётом нагрузки сети; аддитивность потоков по группам позволяет не решать равновесие заново для каждого варианта.

РЕЗУЛЬТАТЫ · РИС. 1

Граф УДС с пассажирскими потоками в утренний пик



КАК ЧИТАТЬ КАРТУ

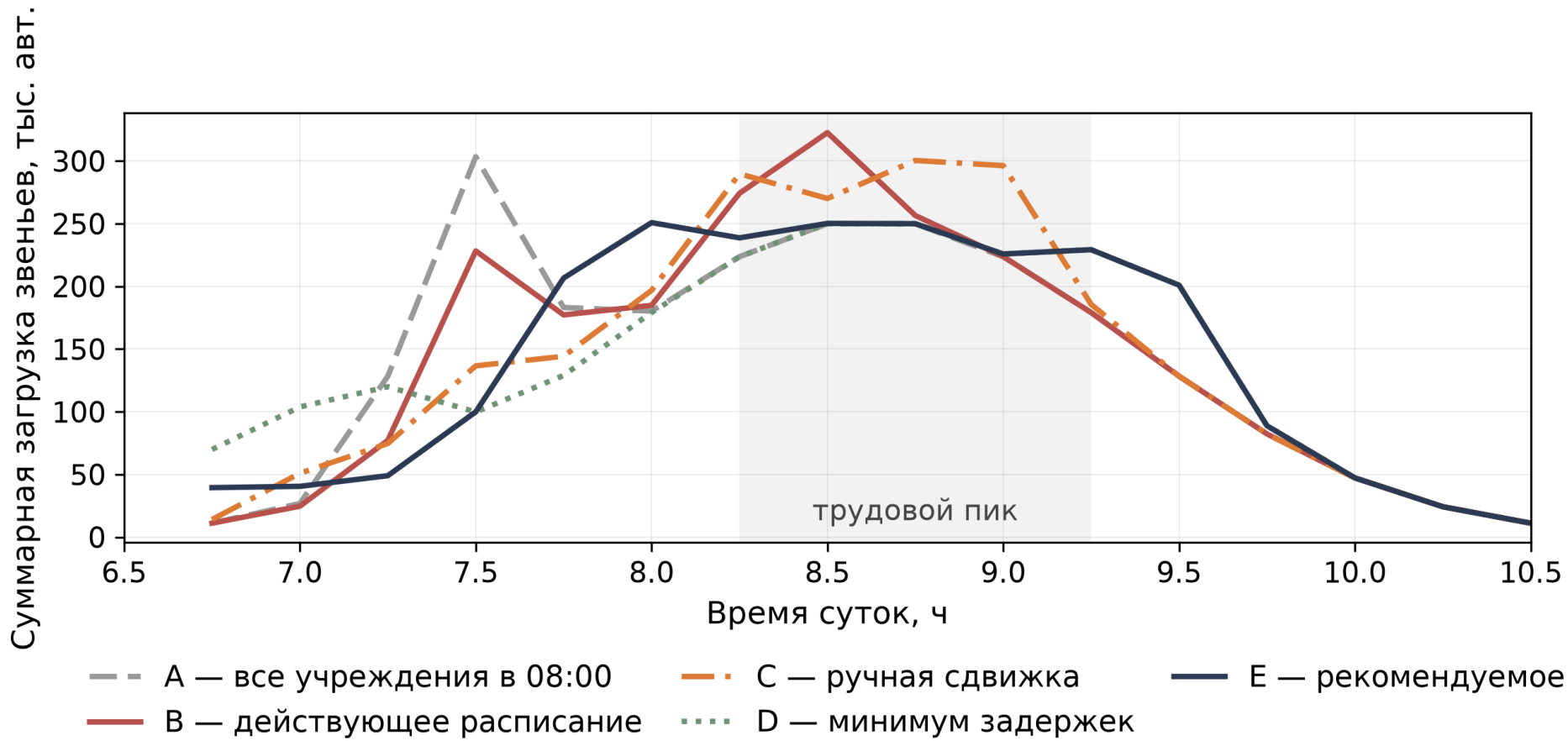
Толщина звена — расчётная интенсивность, авт/ч.

Цвет — отношение потока к пропускной способности v/c: от свободного до перегруза.

Слева — синхронный старт, справа — действующее расписание.

Толщина звеньев — расчётная интенсивность, цвет — отношение v/c. Заторы концентрируются на радиальных направлениях (Юнусабад — Шайхантахур, Олмазор — Яккасарай, Сергели — Чилонзор), а не в деловом центре: школы и вузы стоят в жилых районах.

Пик нагрузки сдвинут относительно формального старта



Максимум въездов в кварталы приходится на 15–30 минут раньше объявленного начала занятий: подвоз детей и парковка перед корпусами. Сдвигать нужно не время звонка, а интервал прибытия — это и есть управляемая переменная расписания.

РЕЗУЛЬТАТЫ · ТАБЛ. 5

Сопоставление вариантов расписания

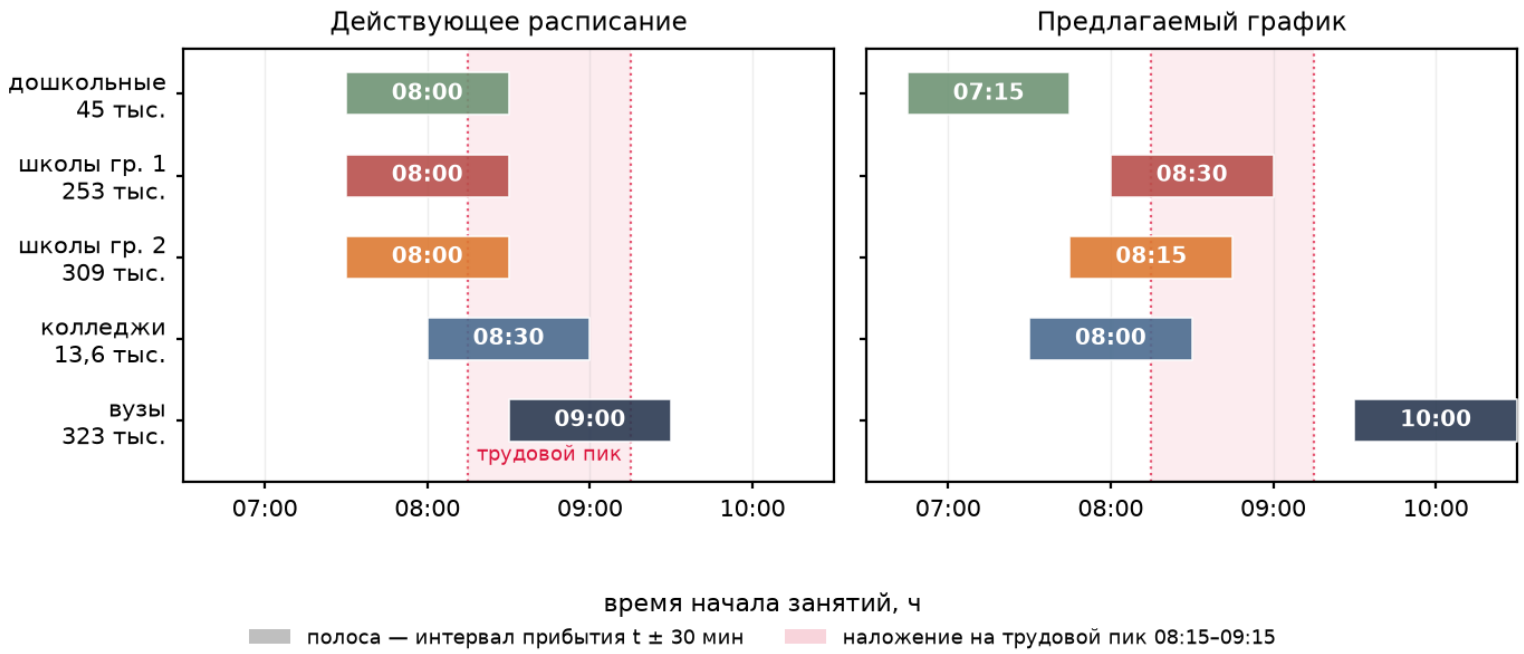
Сценарий	Дошк.	Шк. 1	Шк. 2	Колл.	Вузы	Задержки, авт·ч	07:30–08:00	08:00–08:30	Скорость, км/ч	v/c max	Перекр. $d > 2d_0$	Избыток X
A. Синхронный старт	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	2 977	1 964	1 322	23,71	2,48	10	11,1
B. Действующее	08:00	08:00	08:00	08:30	09:00	3 092	2 137	1 644	23,18	2,97	18	15,8
C. Ручная сдвижка	07:30	08:00	08:45	08:30	09:30	3 132	1 974	1 668	23,00	2,82	16	14,0
D. Минимум задержек	07:00	07:45	07:30	08:00	10:00	2 910	1 563	1 321	24,03	2,48	14	10,2
E. Рекомендуемое	**07:15**	**08:30**	**08:15**	**08:00**	**10:00**	**3 013**	**1 839**	**1 480**	**23,54**	**2,48**	**8**	**9,2**

Сценарий A воспроизводит «одновременный старт» — предложение, с которого началась дискуссия: он лучше действующего по перекрёсткам, но концентрирует поток в одном интервале. Сценарий C показывает, что ручное разведение занятий без модели не помогает: новый пик в 08:45 складывается из сдвинутых школ и вузовского потока.

D даёт 2 910 авт·ч (−5,9 %), но требует старта школ в 07:30–07:45: подъём детей в 06:15. Принят E как компромисс, D — нижняя граница достижимого.

РЕЗУЛЬТАТ ОПТИМИЗАЦИИ · РИС. 3

Рекомендуемый ступенчатый график старта



Группа	Старт	Было	Сдвиг
Дошкольные организации	07:15	08:00	−45 мин
Школы, группа 2 (55 %)	08:15	08:00	+15 мин
Школы, группа 1 (45 %)	08:30	08:00	+30 мин
Колледжи и техникумы	08:00	08:30	−30 мин
Вузы	10:00	09:00	+60 мин

Сдвиги несимметричны и по знаку, и по величине. Раньше всех уходят дошкольные организации — их подвоз идёт в свободную сеть. Позже всех — вузы: вынос за пределы трудового пика 08:15–09:15 даёт основной выигрыш.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Почему 15-минутный шаг даёт эффект

Задержка на перегоне

$$t = t_0 \cdot [1 + 0{,}15 \cdot (q / C)^4]$$

Степень 4 делает функцию почти вертикальной у границы пропускн способности. При q/C = 0,9 добавка к времени хода — 10 %, при 1,3 уже 185 %. Снижение загрузки с 1,3 до 0,9 снимает затор целиком, суммарный поток меняется на 6 %.

Показатель	B	E	Δ
Число перекрёстков с d > 2d₀	18	8	−56 %
Звеньев с v/c > 1	10	8	−20 %
Избыток загрузки Q	15,8	9,2	−42 %
Поток на звеньях в пиковом интервале, тыс. авт/ч	322,6	250,9	−22,3 %
Суммарные задержки, авт·ч	3 092	3 013	−2,6 %
Средняя скорость, км/ч	23,18	23,54	+1,6 %

Δ — изменение варианта E относительно B; поток и задержки — за интервал 07:30–08:30.

Отсюда и расхождение между двумя метриками: суммарные задержки меняются слабо, а число мест, где сеть работает за пределом пропускной способности, сокращается вдвое. Для задачи «убрать пробки» вторая метрика — целевая.

ПРОВЕРКА · ТАБЛ. 6

Устойчивость результата к параметрам модели

Конфигурация	Задержки B, авт·ч	Задержки D, авт·ч	Задержки E, авт·ч	Снижение D, %	Снижение E, %	Меньше перекрёстков с перегрузкой, %
Базовая	3 092	2 910	3 013	5,9	2,6	43
Подвоз на автомобиле 0,20	2 999	2 842	2 908	5,2	3,0	21
Подвоз на автомобиле 0,40	3 196	2 983	3 126	6,7	2,2	29
Фоновый спрос −30 %	1 974	1 877	1 933	4,9	2,1	29
Фоновый спрос +30 %	4 651	4 361	4 526	6,2	2,7	27

Знак и порядок эффекта сохраняются во всех пяти конфигурациях: снижение задержек 2,1–3,0 % для E, 4,9–6,7 % для D, сокращение числа перегруженных узлов на 21–43 %. Разброс меньше, чем разница между сценариями, — вывод о превосходстве ступенчатого графика не зависит от точности оценки доли автомобильного подвоза.

ВЫВОДЫ

Что следует из расчёта

1. Учебный пик управляем по времени и сопоставим по масштабу с трудовым: 1,06 млн обучающихся, 209 тыс. автомобильных поездок в сутки.

2. Действующее расписание концентрирует 68,3 % контингента на 08:00 (HHI 0,559). Это и есть источник заторовой загрузки, а не общий рост автомобилизации.

3. Ступенчатый график со сдвигом групп на 15–60 минут сокращает число перегруженных перекрёстков с 18 до 8, избыток загрузки — на 42 %, поток на звеньях в пиковом интервале — на 22,3 %.

4. Разведение занятий по времени само по себе не помогает: варианты B и C ухудшают обстановку. Эффект даёт только согласование сдвигов между группами и с трудовым пиком.

5. Наиболее уязвимы вузы: сдвиг на 09:00 наложил их поток на трудовой максимум 08:45. Вынос вузов на 10:00 и разведение школ по двум стартам снимает наложение.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ограничения и следующий шаг

ЧЕГО МОДЕЛЬ НЕ УЧИТЫВАЕТ

· Вечерний пик и вторая смена: расчёт ограничен интервалом 06:00–10:00.

· Выбор школы и вуза: корреспонденции заданы гравитационно, без учёта фактического распределения по заявлениям.

· Пересадочные поездки на общественном транспорте и их реакцию на сдвиг старта.

· Сезонность и дни с изменённым расписанием.

ЧТО ДАЁТ СЛЕДУЮЩИЙ ШАГ

· Калибровка по натурным замерам: 20–30 постов в утренний пик, интенсивности и составы потоков у 15–20 школ и вузов.

· Проверка на микроуровне: имитация 5–7 наиболее загруженных узлов.

· Расширение окна на вечерний пик и вторую смену.

· Оценка социальных издержек сдвига (подъём детей, работа родителей) — без неё сравнение D и E неполно.

Расчёт показывает порядок эффекта и направление решения. Для нормативного документа нужна калибровка на натурных данных: модель укрупнённая, и её абсолютные значения следует читать как оценку сверху для числа заторовых мест.