



МАТЕРИАЛЫ ЛЕКЦИИ

ЛЕКЦИЯ 6

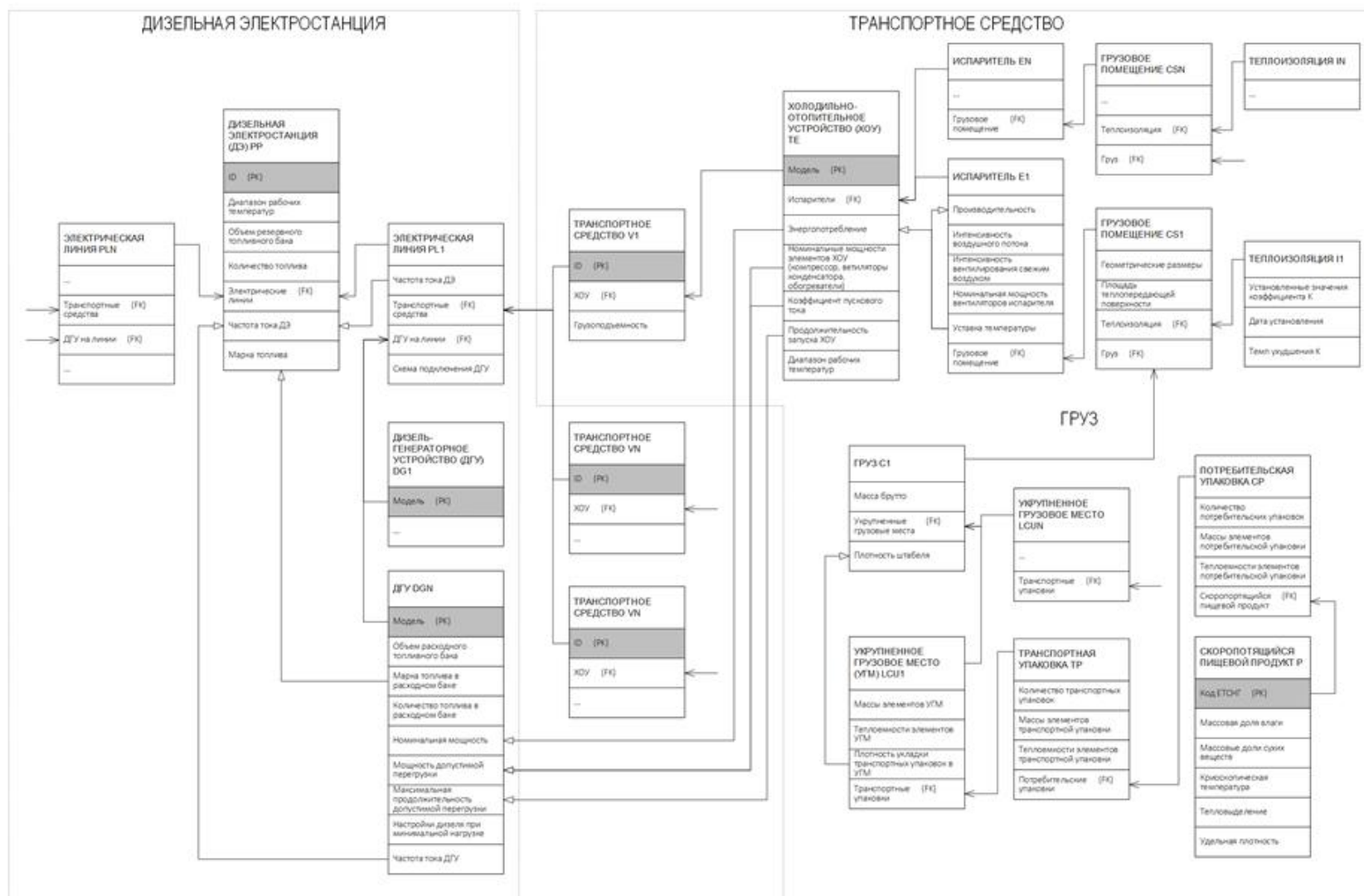
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ

к.т.н. Давыдов Денис Олегович

КОНТЕКСТ

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ (ТЕМПЕРАТУРА, ВЛАЖНОСТЬ, СКОРОСТЬ ВЕТРА, БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ)



ВАРИАНТЫ УЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

НЕОБХОДИМО:

1. Определить возможные технологии перевозки для заданных параметров груза:
$$\begin{cases} \text{TX1 при } (\text{ГРП} = 0 \vee \text{ГРП} = 1) \wedge \text{УПК} = 1 \wedge (\text{ВНТ} = 0 \vee \text{ВНТ} = 1) \\ \text{TX2 при } (\text{ГРП} = 0 \vee \text{ГРП} = 1) \wedge (\text{УПК} = 1 \vee \text{УПК} = 2) \wedge \text{ВНТ} = 0 \\ \text{TX3 при } \text{ГРП} = 0 \wedge \text{УПК} = 1 \wedge (\text{ВНТ} = 0 \vee \text{ВНТ} = 1) \end{cases}$$
2. Определить расчетное температурное воздействие для заданных направления и способа организации перевозки, даты приема груза:
 - для TX1, TX2: $t_{ext} = \bar{t}_H$
 $\bar{t}_H$ – средняя расчетная температура наружного воздуха, °C
 - для TX3: $t_{ext} = \{t_H + \Delta t_H\} = t_B$
 Δt_H – увеличение температуры внутри кузова от воздействия излучения (солнечного и от ж/д полотна), °C (при ВНТ = 1, $\Delta t_H = 0$)
 t_B – температура воздуха внутри кузова УКВ/УКК
3. В случае $((t_{ext} < t_{\text{трmin}}) \vee (t_{ext} > t_{\text{трmax}})) \wedge \text{СПР} = 0$ определить **параметры использования технологий** перевозки в части обеспечения ТТУ:
 - для TX1 – минимально необходимый запас топлива в дизель-генераторном устройстве (ДГУ) ($V_{\text{трmin}}$)
 - для TX2 – предельно допустимое значение коэффициента К (K_{max})Для TX3 – произвести **количественную** оценку соблюдения ТТУ при перевозке

Крайние способы представления маршрута перевозки:

- в границах укрупненных регионов, характеризующихся установленными климатическими параметрами для определенных периодов года
- геопозиционирование с использованием сети метеостанций и с привязкой к временным меткам

Множество значений, привязанных к маршруту проследования груза

Одно значение на всю перевозку

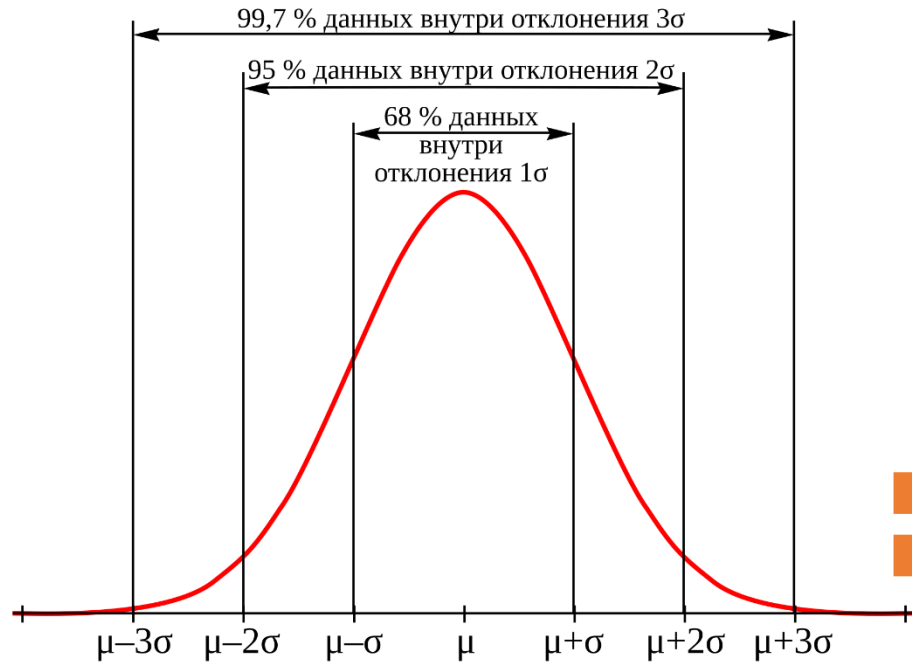
Основные методы прогнозирования погодных условий:

- с заданной обеспеченностью
- с использованием глобальных и региональных прогнозных моделей

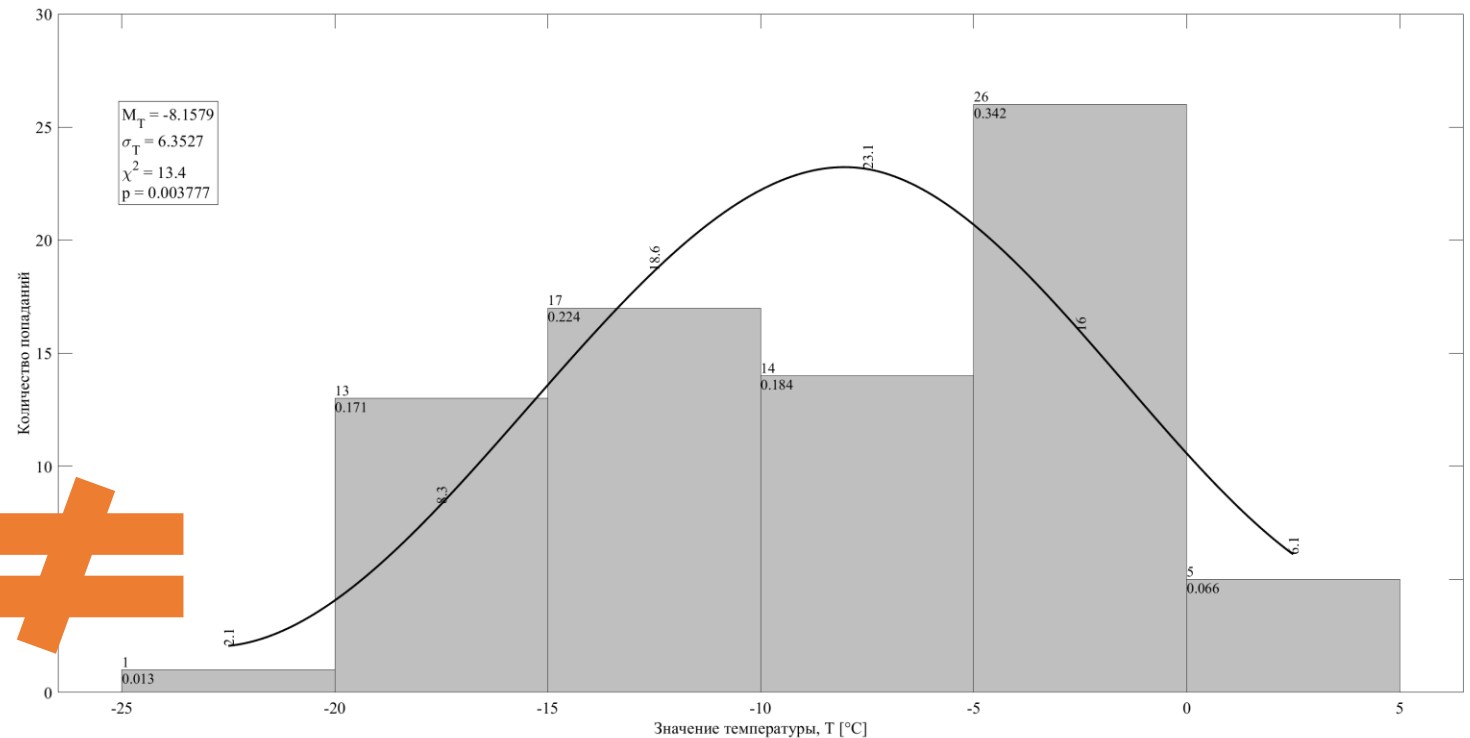
Глубина прогноза в моделях:

- краткосрочный (в часах)
- среднесрочный (5-10 суток)
- долгосрочный (с использованием статистических данных)

ТЕМПЕРАТУРА С ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ



Нормальный закон распределения случайной величины



Распределение суточных температур наружного воздуха в г. Москва (индекс ВМО 27612) за 24 января с 1949 по 2024 гг.



Эффективная глубина метеоданных для статистического прогноза составляет 30-50 лет

ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДОРОГАМ С ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ 95 %

Название метеостанции и дороги	Расчетные температуры наружного воздуха, °C																							
	январь	январь	февраль	февраль	март	март	апрель	апрель	май	май	июнь	июнь	июль	июль	август	август	сентябрь	сентябрь	октябрь	октябрь	ноябрь	ноябрь	декабрь	декабрь
ИТОГО по В-СИБ (СЕВ)	-14,4	-35,7	-9,7	-27,4	-0,7	-15,1	6,5	-2,0	16,5	5,9	21,3	10,7	21,7	11,3	16,3	6,8	6,5	-1,6	-1,2	-17,6	-10,0	-33,3	-18,5	-39,5
ИТОГО по В-СИБ (ЮГ)	-10,6	-35,0	-4,5	-22,8	3,4	-11,3	10,4	0,0	18,6	7,6	22,0	11,7	22,1	13,1	17,3	8,7	8,9	0,5	2,4	-11,2	-5,1	-25,9	-11,1	-32,7
ИТОГО по ГОРЬК	-2,7	-24,2	1,0	-17,2	5,5	-7,0	15,6	2,2	23,2	8,4	24,8	12,7	25,0	13,0	20,2	7,7	14,0	1,3	6,4	-6,3	1,2	-18,6	-1,5	-22,2
ИТОГО по Д-ВОСТ (САХ)	-4,6	-21,4	-4,4	-15,7	2,3	-8,3	7,4	0,1	12,8	5,3	18,3	9,6	19,9	12,6	20,5	12,9	13,4	5,5	6,8	-3,2	0,3	-14,5	-3,1	-18,9
ИТОГО по Д-ВОСТ (СЕВ)	-18,7	-35,3	-12,6	-26,0	0,1	-15,7	9,1	-1,4	17,7	7,0	21,9	12,2	21,5	12,1	17,1	7,5	7,8	-1,4	-2,9	-16,9	-13,7	-33,8	-19,4	-37,2
ИТОГО по Д-ВОСТ (ЮГ)	-11,6	-24,3	-4,5	-16,4	5,5	-6,5	13,1	4,6	19,0	10,2	22,9	14,1	24,3	17,1	22,0	14,0	14,2	5,7	5,7	-5,4	-4,6	-20,3	-11,1	-24,6
ИТОГО по ЗАБ	-16,4	-31,4	-9,1	-23,1	2,6	-12,0	11,6	1,5	19,0	9,0	23,0	13,6	22,7	14,7	18,2	9,6	9,1	0,7	-0,5	-12,8	-11,3	-29,7	-17,1	-34,7
ИТОГО по Э-СИБ	-4,1	-29,5	-2,6	-21,9	5,8	-8,3	15,1	0,0	21,7	8,5	23,7	14,1	23,8	13,3	20,4	8,5	12,4	2,0	6,2	-8,1	-1,0	-26,3	-5,8	-29,2
ИТОГО по КБШ	-2,8	-23,0	1,4	-19,0	6,7	-7,7	17,0	3,3	23,9	10,3	26,2	14,5	27,0	14,2	21,9	8,9	15,2	2,8	7,0	-5,2	1,3	-17,9	-1,3	-24,5
ИТОГО по КЛГ	4,6	-10,2	5,8	-9,5	8,9	0,0	17,7	5,9	19,8	9,1	21,2	13,4	25,2	15,0	20,5	12,2	15,2	5,4	10,8	1,1	7,0	-10,2	5,1	-13,9
ИТОГО по КРАС	-5,1	-33,8	-1,8	-24,0	5,7	-9,6	12,6	-0,8	19,7	6,9	22,7	12,6	22,4	12,9	18,3	7,3	10,2	0,4	5,5	-11,1	-1,9	-26,5	-5,5	-32,5
ИТОГО по МОСК	0,1	-20,3	3,0	-14,3	7,6	-4,4	16,0	3,9	22,8	9,4	23,4	13,5	25,1	13,9	20,0	9,2	14,7	2,5	8,4	-4,7	4,1	-15,7	0,7	-17,5
ИТОГО по ОКТ (СЕВ)	-1,6	-27,1	0,1	-18,4	2,9	-9,7	8,7	-1,6	15,2	3,1	20,1	8,8	21,5	10,5	15,3	6,5	10,2	1,4	5,4	-8,3	2,3	-16,7	0,8	-21,9
ИТОГО по ОКТ (ЮГ)	0,6	-20,1	2,4	-14,2	6,1	-4,4	14,8	2,8	20,8	7,7	22,6	12,9	23,8	13,5	18,9	8,7	13,3	2,3	7,8	-3,8	4,9	-14,8	1,6	-18,8
ИТОГО по ПРИВ	-0,4	-21,0	3,8	-14,8	9,2	-5,6	19,3	5,8	25,2	13,1	29,2	17,3	30,4	17,2	24,8	12,2	18,8	5,0	9,6	-2,6	4,6	-14,9	2,6	-18,9
ИТОГО по СВЕРД (СЕВ)	-8,1	-35,5	-1,7	-26,0	3,4	-15,6	7,7	-7,8	19,9	3,1	24,4	10,7	22,4	11,5	16,3	5,4	10,3	-1,6	2,1	-17,2	-3,9	-31,3	-5,9	-35,0
ИТОГО по СВЕРД (ЮГ)	-5,6	-27,5	0,4	-17,8	6,5	-8,3	13,3	-1,6	20,8	6,1	24,2	12,6	24,0	12,1	19,2	6,0	11,9	0,4	4,9	-9,0	-1,3	-22,8	-4,8	-26,2
ИТОГО по СЕВ (СЕВ)	-3,7	-29,7	-0,4	-21,2	2,9	-14,8	10,0	-3,3	18,2	3,5	23,0	8,9	21,8	10,2	16,1	5,5	10,5	-0,4	4,0	-12,7	-0,1	-24,2	-1,6	-27,1
ИТОГО по СЕВ (ЮГ)	-0,7	-23,0	1,3	-15,0	6,0	-7,6	14,9	1,7	22,4	7,8	23,9	12,0	23,3	12,9	19,5	7,5	13,0	0,9	7,4	-5,4	3,0	-18,5	0,0	-20,0
ИТОГО по С-КАВ (МХЧ-СМР)	5,9	-7,5	7,4	-1,7	10,5	3,5	16,4	8,5	23,6	16,1	27,7	20,3	29,5	22,8	27,9	19,4	22,1	13,1	16,3	5,6	11,1	-2,3	6,7	-2,2
ИТОГО по С-КАВ (ОСН)	5,3	-15,1	7,8	-6,6	12,0	1,4	19,0	7,7	24,1	13,8	26,3	17,9	29,6	20,3	26,0	15,6	21,2	8,3	13,4	1,2	9,1	-7,5	6,0	-8,9
ИТОГО по Ю-ВОСТ	0,2	-21,7	3,2	-15,0	8,4	-5,5	17,5	4,8	24,0	10,8	26,0	14,7	27,4	15,0	21,1	10,8	16,0	3,5	8,8	-4,6	5,0	-14,1	1,1	-15,9
ИТОГО по Ю-УР	-4,3	-25,3	-0,6	-19,3	7,9	-8,7	15,8	1,1	22,1	9,9	25,9	15,1	25,7	14,2	22,2	8,2	14,9	2,2	6,4	-5,9	0,0	-21,0	-4,4	-25,5
ИТОГО по ЖДЯ	-19,0	-39,1	-15,0	-31,1	-2,5	-20,3	5,9	-4,9	17,4	5,4	22,6	11,8	22,1	9,8	15,4	4,8	6,1	-5,3	-5,7	-24,3	-15,4	-37,8	-21,0	-42,3
ИТОГО по КЖД	7,1	-11,3	9,2	-6,8	11,2	2,4	19,8	8,6	22,8	13,1	25,8	17,4	28,5	20,4	24,5	15,8	20,8	7,8	13,8	1,5	11,6	-2,8	8,2	-6,2
ИТОГО по Льв	4,5	-15,0	6,8	-9,5	10,8	0,0	19,2	8,1	20,4	10,0	22,8	13,5	24,6	15,9	23,8	12,1	16,7	5,6	12,8	-0,9	6,8	-6,7	4,3	-11,8
ИТОГО по Ю-ЗАП	2,7	-16,9	6,2	-10,5	10,5	-0,9	19,3	6,8	22,4	10,6	23,0	14,3	25,7	16,5	22,7	11,7	16,6	4,3	11,6	-2,2	5,5	-10,1	2,3	-12,0
ИТОГО по ЮЖН	1,9	-18,7	5,7	-11,9	10,1	-1,7	19,1	6,9	23,6	11,2	25,0	15,3	27,7	17,3	21,9	11,9	17,7	3,9	10,4	-3,4	6,8	-11,5	2,6	-12,5
ИТОГО по ДОН	1,9	-19,6	4,7	-11,6	9,8	-2,4	18,7	5,2	25,0	10,9	25,1	15,6	29,1	18,3	22,2	11,7	19,2	3,7	9,7	-4,1	7,2	-10,9	2,8	-13,1
ИТОГО по ПРИДН	4,3	-14,4	7,4	-8,5	10,3	0,5	19,4	8,1	23,8	12,8	25,9	16,8	28,6	19,5	23,5	14,4	19,3	6,0	11,8	-0,6	9,3	-6,5	5,4	-9,5
ИТОГО по ОД	4,2	-14,2	7,2	-8,4	10,9	0,8	19,9	8,1	23,0	12,0	24,9	15,4	27,5	18,8	23,7	14,0	18,6	6,1	12,3	-0,5	7,7	-6,3	5,1	-8,8
ИТОГО по БЕЛ	1,9	-16,0	5,0	-11,9	9,2	-1,7	17,0	5,1	21,5	9,9	22,1	14,2	24,5	15,5	21,5	10,5	14,9	3,3	9,8	-2,1	4,9	-13,7	2,3	-16,3
ИТОГО по КТЖ	-1,2	-23,0	0,8	-17,9	10,4	-5,1	18,3	5,4	25,2	13,8	28,2	19,1	28,7	18,1	25,7	13,3	17,8	6,2	9,5	-2,7	2,6	-17,1	-2,0	-19,7
ИТОГО по МЛД	5,9	-14,5	9,3	-8,6	12,4	2,0	22,1	9,1	22,8	11,8	25,7	15,3	27,8	18,7	26,1	15,3	20,2	7,7	14,0	0,0	8,1	-3,9	6,6	-7,9
ИТОГО по УЗБК	8,5	-7,9	11,7	-4,4	17,2	3,9	23,9	9,8	28,4	19,8	31,8	25,3	32,2	24,8	28,1	19,6	22,0	12,5	17,8	1,7	11,0	-4,7	8,6	-8,9
ИТОГО по ТАДЖ	8,2	-7,5	13,3	-4,2	18,1	5,2	24,2	11,5	29,0	19,8	31,0	25,8	31,1	24,1	26,8	20,4	21,9	13,1	16,6	5,2	12,4	-1,6	7,4	-6,2
ИТОГО по ТРК	8,8	-9,4	12,6	-3,8	17,3	5,9	24,3	12,0	29,5	20,1	32,4	25,9	32,8	25,3	28,7	20,9	23,5	13,8	17,4	4,6	11,9	-4,1	9,4	-6,7
ИТОГО по АРМ	3,5	-14,6	6,2	-9,5	12,5	2,1	16,8	8,3	22,1	13,3	25,3	17,7	27,6	19,2	25,2	16,2	19,8	11,7	12,8	2,2	7,4	-4,0	1,9	-9,8
ИТОГО по АЗЕРБ	6,1	-4,9	10,0	-1,7	12,7	4,6	18,7	10,7	24,4	15,8	27,8	20,0	28,9	21,5	26,2	18,3	21,5	13,8	15,8	5,2	10,8	0,1	7,2	-1,5
ИТОГО по ГРЗ	7,5	-2,7	10,2	-1,0	16,2	5,3	19,8	10,4	24,0	15,0	25,4	18,7	27,8	19,9	26,1	17,4	21,7	12,8	16,8	5,9	11,7	1,6	7,9	-1,6
ИТОГО по ЛАТ	3,4	-15,4	4,5	-12,8	7,8	-4,1	14,9	1,9	19,7	7,5	21,4	12,3	22,9	13,8	20,2	11,3	14,9	4,2	9,1	-3,7	5,4	-8,0	2,6	-14,1
ИТОГО по ЛИТ	2,7	-14,7	4,7	-11,9	8,8	-2,3	15,9	2,5	20,3	8,1	21,1	12,0	23,7	13,5	20,5	11,3	15,4	4,2	9,3	-4,1	4,9	-8,6	3,1	-13,7
ИТОГО по ЭСТ	1,8	-16,7	2,2	-14,9	5,5	-5,3	13,2	1,1	18,8	7,3	22,0	12,6	21,8	14,0	19,3	10,6	13,6	4,6	8,5	-3,3	5,1	-8,3	1,6	-14,1
ИТОГО по КЫРГ	5,6	-14,5	9,8	-9,4	15,4	2,9	21,9	10,6	24,7	14,8	27,5	20,4	29,2	21,1	25,6	16,0	21,2	8,6	13,6	-0,7	8,5	-9,6	4,6	-14,7
ИТОГО Сеть (среднезвеш.)	-0,7	-21,1	2,5	-14,7	8,4	-4,6	16,5	4,0	22,5	10,5	25,0	15,3	26,1	15,9	22,0	11,2	15,6	4,3	8,8	-4,3	3,2	-15,5	-0,4	-18,9

max	min
21,7	-39,5
22,1	-35,0
25,0	-24,2
20,5	-21,4
21,9	-37,2
24,3	-24,6
23,0	-34,7
23,8	-29,5
27,0	-24,5
25,2	-13,9
22,7	-33,8
25,1	-20,3
21,5	-27,1
23,8	-20,1
30,4	-21,0
24,4	-35,5
24,2	-27,5
23,0	-29,7
23,9	-23,0
29,5	-7,5
29,6	-15,1
27,4	-21,7
25,9	-25,5
22,6	-42,3
28,5	-11,3
24,6	-15,0
25,7	-16,9
27,7	-18,7
29,1	-19,6
28,6	-14,4
27,5	-14,2
24,5	-16,3
28,7	-23,0
27,8	-14,5
32,2	-8,9
31,1	-7,5
32,8	-9,4
27,6	-14,6
28,9	-4,9
27,8	-2,7
22,9	-15,4
23,7	-14,7
22,0	-16,7
29,2	-14,7
26,2	-21,4

Весы

- метеостанции привязаны к основному путевому развитию дороги
- вес метеостанции = длина привязанных путей
- расчетная температура на дороге как средняя с учетом весов метеостанций

Сглаживание

Аномальные суточные выбросы температур сглажены усреднением за несколько смежных дней (пятидневки)

Надежность

- большая глубина статистики по метеоданным (50 лет)
- доверительный интервал $p = 0,95$ (95 %)

АЛЬБОМ ТЕМПЕРАТУР С
ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ 98%



ПРИМЕР РАСЧЕТА

Возьмем для примера перевозку пива со станции Селятино на станцию Владивосток отправлением 25.01 и прибытием 01.02.

Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха следующий:

- 1) Получаем кратчайший маршрут следования груза в любой программе для расчета ж.д. тарифа (например, Полюс, ltr32.ru)
- 2) На основании полученного маршрута перевозки формируем таблицу следующего вида:

Дорога	Км.	T, °C
Московская	272	-20,3
Горьковская	1256	-24,2
Свердловская	220	-27,5 (ЮГ)
Южно-Уральская	438	-25,3
Западно-Сибирская	854	-29,5
Красноярская	649	-33,8
Восточно-Сибирская	1221	-35,0 (ЮГ: кроме участка Лена-Восточная – Хани)
Забайкальская	1784	-31,4
Дальневосточная	1115	-24,3 (ЮГ: кроме уч. Хани – Дипкун, Дипкун – Комсомольск-на-Амуре, Штурм – Алдан, о. Сахалин)
ИТОГО	7809	T=?

- 3) Определим T как *средневзвешенную* (по дорогам): $T = [272 * (-20,3) + 1256 * (-24,2) + \dots + 1115 * (-24,3)] / 7809 = -28,9$

ВОПРОСЫ:

1. Поясните смысл полученной величины -28,9 °C?

2. Чем и как необходимо дополнить расчет, если прибытие не 01.02, а 07.02?

ПРИВЯЗКА МЕТЕОСТАНЦИЙ К МАРШРУТУ ПЕРЕВОЗКИ

$$(k, i) \leftarrow \min_{i=1..I} S(\overline{LAT_k}, \overline{LON_k}, (LAT_i, LON_i))$$

(k, i) – установленная привязка k -го элементарного отрезка ($k \in M$, где M – маршрут перевозки) к i -й метеостанции ($i \in I$, где I – опорные метеостанции)

$S(\overline{LAT_k}, \overline{LON_k}, (LAT_i, LON_i))$ – расстояние между центром k -го элементарного отрезка и i -й метеостанцией



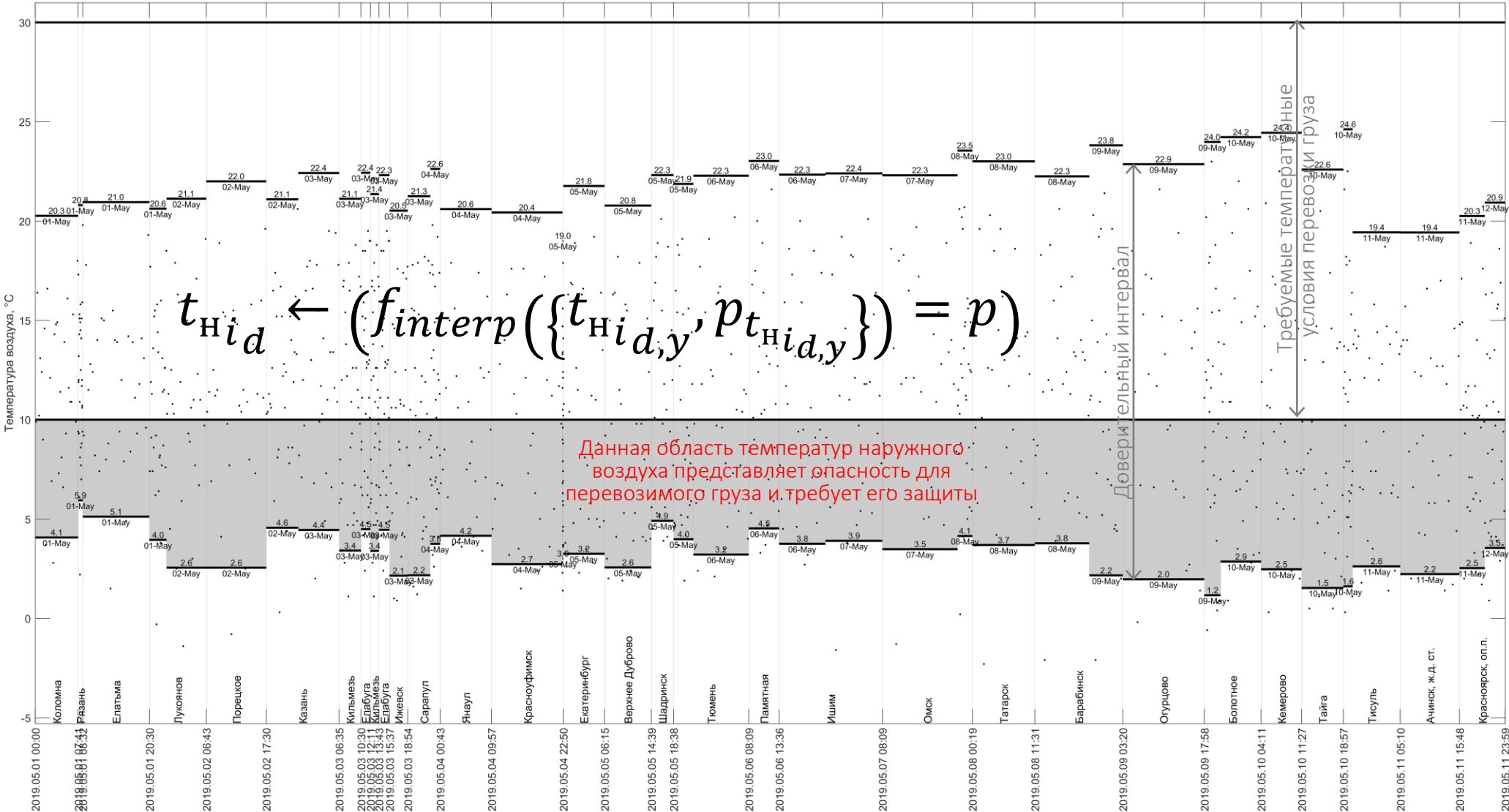
ТЕМПЕРАТУРЫ НА МАРШРУТЕ С % ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Привязка к маршруту

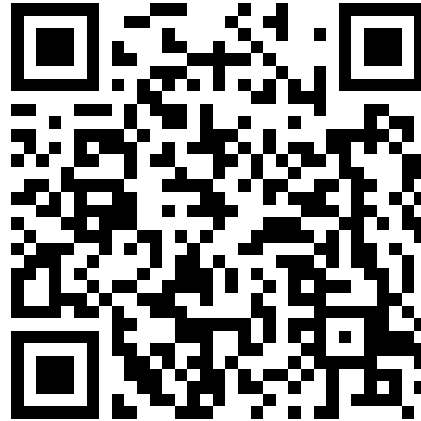
Привязка метеостанций к конкретному маршруту перевозки

Привязка ко времени

Метеоданные извлекаются для расчетной даты проследования участка маршрута



ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА



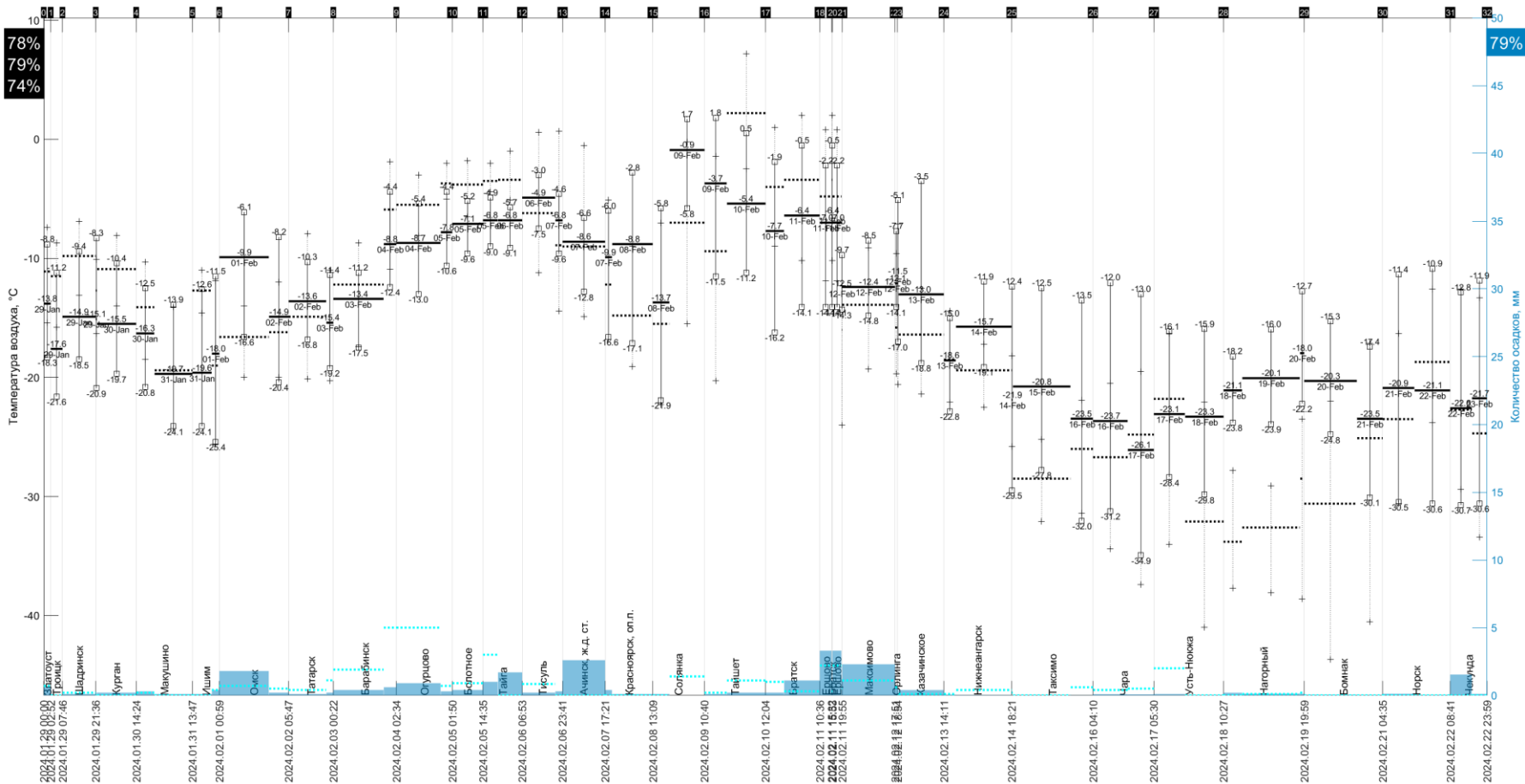
*исправленная версия (устранена ошибка, возникшая во время лекции)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

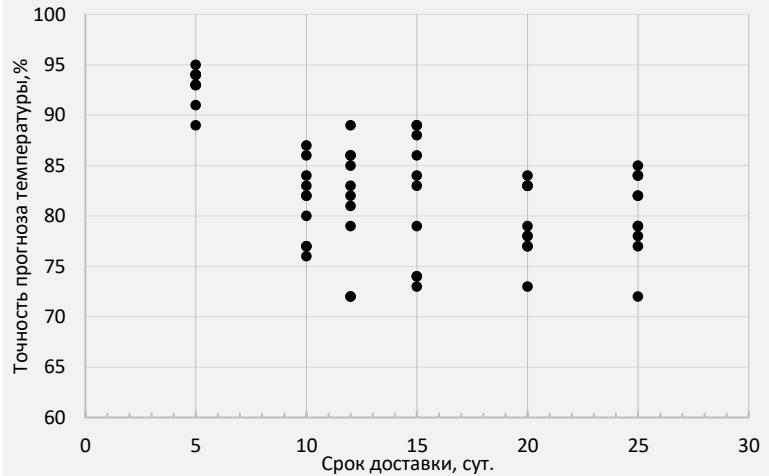
Рейтинг глобальных прогностических моделей в 2022 году. Точность прогноза MSLP на 120 часов

Место	Модель	Страна	Точность, %	Разница с 2021 г.	Отставание от ECMWF, лет
1	ECMWF	Европа	90.53	0.60%	0
2	UKMO	UK	89.02	0.01%	6
3	BOM	Австралия	88.07	-0.08%	7
4	CMC	Канада	87.45	0.13%	9
5	ICON	Германия	87.30	0.40%	9
6	GFS	США	87.19	0.49%	10
7	JMA	Япония	87.05	0.38%	10
8	KMA	Корея	86.49	0.10%	10
9	CMA	Китай	81.43	Нет данных	17
10	ПЛАВ	Россия	79.17	-0.16%	19
Источник: wmolcdnv.ecmwf.int				0.21%	

ДАННЫЕ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ НА МАРШРУТЕ



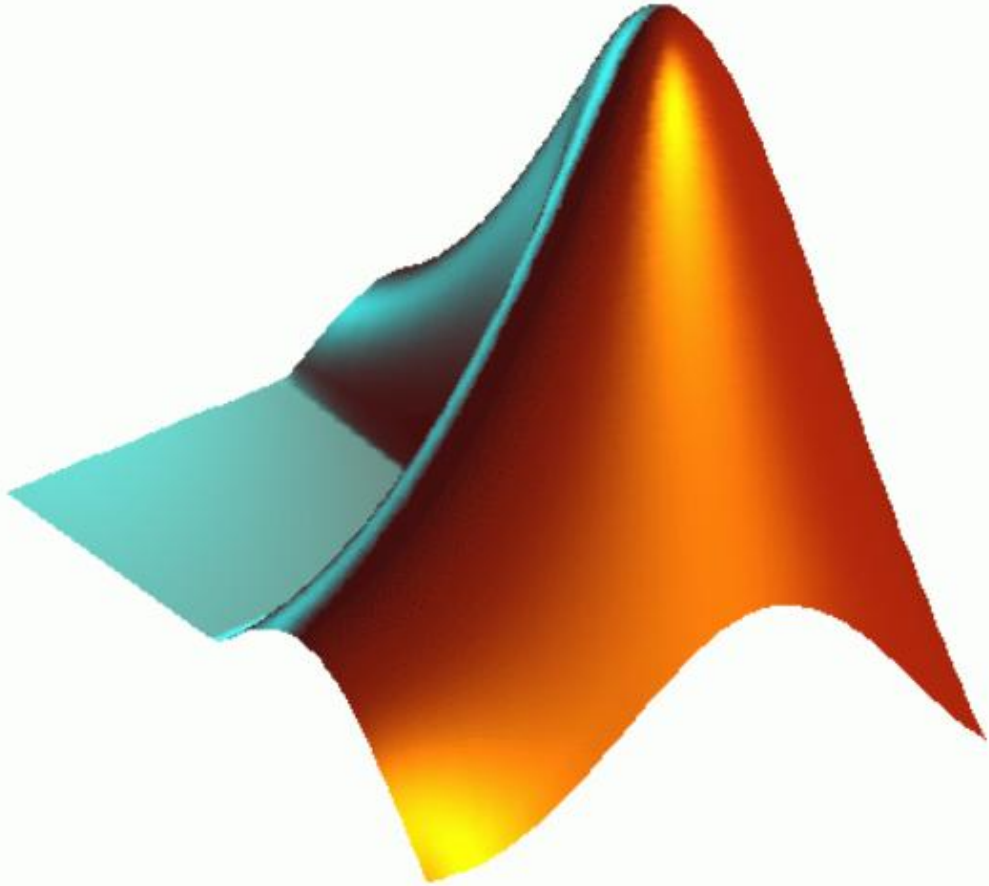
Точность при продолжительности перевозки до 25 суток



не менее 70 %

Направление	Срок дост., сут.	Точность прогноза среднесуточной температуры воздуха, %, для даты отправления										Ср. значение
		11.01.24	13.01.24	15.01.24	17.01.24	19.01.24	21.01.24	23.01.24	25.01.24	27.01.24	29.01.24	
Павловск-Воронежский - Калуга	5	94	93	91	94	94	94	93	89	93	95	93,0
Линево - Лужская	10	87	80	86	84	77	77	76	83	82	82	81,4
Селятино - Владивосток	12	82	86	83	85	72	72	86	79	89	81	81,5
Орск - Кичера	15	86	79	89	83	73	74	89	74	84	88	81,9
Ирбейская - Архара	20	77	83	78	83	79	73	78	77	84	83	79,5
Асфальтная - Новый Ургал	25	84	82	84	85	79	78	82	72	77	79	80,2

ДЕМОНСТРАЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ



MATLAB

KEY POINTS

- 1) Выяснили, что температура наружного воздуха может быть получена 2-мя основными методами:
 - статистическим (с заданной обеспеченностью)
 - с использованием прогнозных моделей (ограничена точностью прогнозной модели, зависящей от глубины прогноза)
- 2) Узнали об опорных метеостанциях и научились привязывать их к маршруту перевозки
- 3) Научились определять различными способами температуру наружного воздуха для маршрута перевозки с заданной обеспеченностью
- 4) Рассмотрели возможность использования данных прогнозных моделей для маршрута перевозки и точность прогноза температуры, в том числе с дополнительным использованием статистических метеоданных

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

ДАВЫДОВ ДЕНИС ОЛЕГОВИЧ
t.me/D2000YOC



<https://t.me/spglab>
канал о скоропорте