

НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.65> EDN: ВТРWNNОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ
АТМОСФЕРЫ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ

Научная статья

Захаров Б.М.^{1,*}, Тимонников С.О.², Белоусова Л.Ю.³, Афанасьева Ю.С.⁴¹ORCID : 0009-0009-8999-2344;²ORCID : 0009-0004-0070-6502;^{1, 2, 3, 4} Санкт-Петербургский Государственный Университет Гражданской Авиации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zakharov1011[at]yandex.ru)

Предложена: 17.07.2026; Принята: 11.08.2026; Опубликовано: 17.08.2026

Аннотация

В статье рассматривается влияние особенностей температурного режима пограничного слоя атмосферы на безопасность полетов воздушных судов на этапе взлета и первоначального набора высоты. На основе данных температурно-ветрового радиозондирования за 2024 год выполнен анализ повторяемости приземных и приподнятых температурных инверсий в районах аэропортов городов Санкт-Петербург, Петрозаводск и Екатеринбург. Рассчитаны основные характеристики инверсионных слоев: вертикальная мощность, глубина инверсии и вертикальный градиент температуры. Отдельное внимание уделено оценке влияния температурной стратификации нижнего слоя атмосферы на угол подъема самолета SSJ-100 на этапе первоначального набора высоты.

Ключевые слова: температурная инверсия, пограничный слой атмосферы, авиационная метеорология, безопасность полетов, радиозондирование.

AN EVALUATION OF THE IMPACT OF TEMPERATURE CONDITIONS IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY
LAYER ON FLIGHT SAFETY

Research article

Zakharov B.M.^{1,*}, Timonnikov S.O.², Belousova L.Y.³, Afanaseva Y.S.⁴¹ORCID : 0009-0009-8999-2344;²ORCID : 0009-0004-0070-6502;^{1, 2, 3, 4} Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (zakharov1011[at]yandex.ru)

Suggested: 17.07.2026; Accepted: 11.08.2026; Published: 17.08.2026

Abstract

The article examines the impact of the temperature conditions in the atmospheric boundary layer on aircraft flight safety during take-off and the initial climb. Based on radio-sounding data on temperature and wind for the year 2024, an analysis was carried out of the recurrence of surface and elevated temperature inversions in the areas surrounding the airports of St Petersburg, Petrozavodsk and Yekaterinburg. The main traits of the inversion layers were calculated: vertical thickness, inversion depth and vertical temperature gradient. Particular attention was paid to assessing the influence of temperature stratification in the lower atmosphere on the angle of climb of the SSJ-100 aircraft during the initial climb phase.

Keywords: temperature inversion, atmospheric boundary layer, aviation meteorology, flight safety, radiosounding.

Введение

Несмотря на развитие гражданской авиации, проблема обеспечения безопасности полетов, в частности, метеорологического обеспечения полетов, остается актуальной. Одним из факторов, определяющих метеорологические условия полетов, оказывающих прямое влияние на летные характеристики воздушных судов (ВС), является температурный режим пограничного слоя атмосферы. В стандартных условиях температура с высотой падает с градиентом 0,65°C на 100 метров [1]. В реальной атмосфере температура с высотой может не только уменьшаться, но и увеличиваться (инверсия) или не изменяться (изотермия) [2].

Инверсионные слои, наряду с изотермией, представляют собой слои атмосферы, которые ослабляют турбулентное перемешивание и препятствуют вертикальному обмену воздуха [1], а также могут повлиять на условия пилотирования ВС, особенно на критических этапах полета, таких как взлет и заход на посадку [3].

Условия формирования температурных инверсий и их характеристики достаточно хорошо представлены в литературных источниках [3], [4]. В то же время практически отсутствуют прикладные исследования, направленные на оценку влияния инверсий на эксплуатационные характеристики полетов ВС в конкретных географических районах. В настоящей работе авторами на основе обработки и анализа статистических данных температурно-ветрового радиозондирования рассчитаны повторяемость инверсий по трем аэродромам (Екатеринбург, Санкт-Петербург, Петрозаводск) и выполнена оценка их влияния на безопасность полетов ВС на этапе взлета.

Температурные инверсии

Различают три вида инверсий: приземные, приподнятые и высотные. Приземные инверсии начинаются непосредственно от подстилающей поверхности. Приподнятые инверсии расположены на некоторой высоте от поверхности земли (обычно от десятков до сотен метров). Высотные инверсии формируются в свободной атмосфере, как правило, выше пограничного слоя.

Повторяемость инверсий обладает четко выраженным годовым ходом и зависит от широты места [4], [5]. В умеренных широтах зимой, когда выхолаживание материков приводит к формированию мощных континентальных антициклонов, инверсии наблюдаются наиболее часто и достигают максимальной мощности [1]. Вертикальная мощность (протяженность) инверсий в таких антициклонах может составлять несколько километров, особенно в том случае, когда радиационная инверсия и инверсия оседания образуют единый задерживающий слой. Среднегодовая повторяемость приземных инверсий увеличивается с запада на восток, а их мощность и интенсивность максимальны в зимний период в континентальных районах. Повторяемость же приподнятых инверсий часто связана с центрами антициклонов [6].

Одним из факторов, определяющих метеорологические условия полетов, оказывающих прямое влияние на летные характеристики воздушных судов (ВС), является температурный режим пограничного слоя атмосферы. При повышении температуры с высотой на этапе взлета происходит снижение тяги двигателей и скороподъемности. Поэтому для восстановления потребной скорости на заданной высоте экипажу необходимо увеличивать мощность работы двигателей. Снижение вертикальной скорости набора высоты при увеличении температуры на 10° может достигать 10–15% [7].

Кроме того, приземные и приподнятые инверсии способствуют формированию сложных условий и опасных явлений погоды для выполнения полетов, таких как:

- Ухудшение видимости и формирование низкой облачности. Под слоем инверсии скапливаются продукты конденсации и аэрозоли. Это приводит к образованию слоистых (St) и слоисто-кучевых (Sc) облаков, а также адвективных туманов [8].

- Вероятность обледенения. Инверсии создают благоприятные условия для обледенения. Максимальная вероятность обледенения ВС наблюдается в диапазоне температур от -5 до -10°C и высокой относительной влажности (более 85%) [7].

- Сдвиг ветра. Значительные сдвиги ветра, влияющие на безопасность полетов, наблюдаются, как правило, при пересечении воздушным судном верхней границы инверсии при взлете и посадке [9].

Методология и результаты расчетов

Исходными данными для анализа температурного режима послужил архив радиозондирования атмосферы Университета Вайоминга (University of Wyoming) за 2024 год [10]. Использовались данные аэрологических станций Санкт-Петербурга (WMO 26075), Петрозаводск (WMO 22820) и Верхнее Дуброво (WMO 28445) за стандартные сроки зондирования 00:00 и 12:00 UTC.

На основе собранных данных был произведен расчет повторяемости инверсий по сезонам в дневное и ночное время по рассматриваемым аэропортам. Расчет производился для приземных и приподнятых инверсий по времени суток отдельно. Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

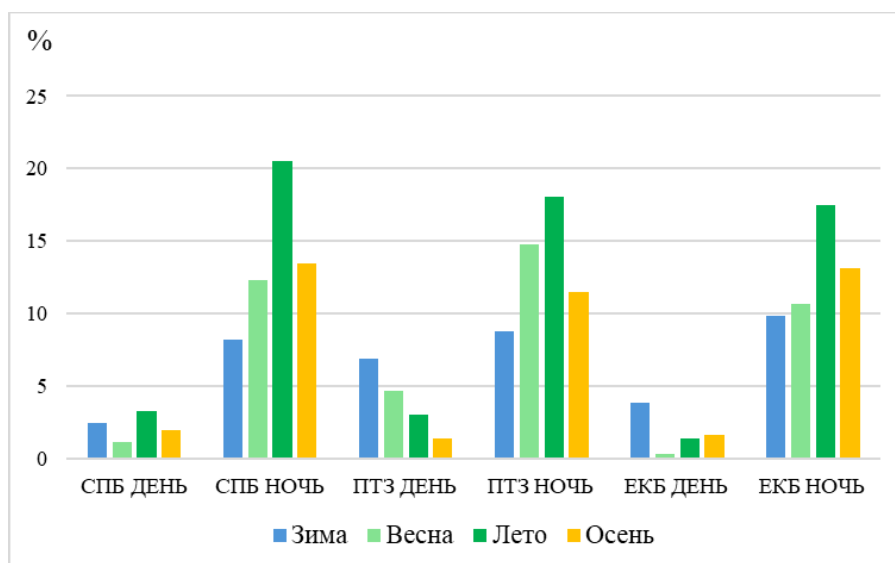


Рисунок 1 - Повторяемость приземных инверсий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.65.1>

Из рисунка видно, что на всех аэродромах вне зависимости от сезона года повторяемость приземных инверсий в ночное время существенно выше, чем в дневное (в среднем в 5–10 раз), что может быть связано с радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности в темное время суток.

Приземные инверсии в дневное время суток наблюдаются редко (повторяемость менее 4%), а в отдельные месяцы отсутствуют полностью.

Максимальная повторяемость приподнятых инверсий также отмечается в холодный период года (см. рис. 2), что может быть связано с преобладанием антициклональной погоды, способствующей формированию устойчивых инверсионных слоев.

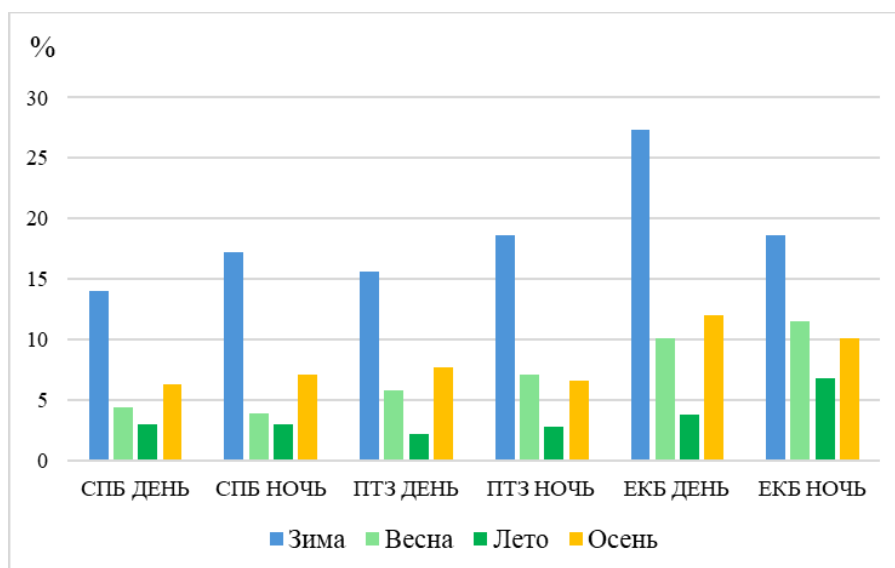


Рисунок 2 - Повторяемость приподнятых инверсий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.65.2>

Сравнительный анализ повторяемости приподнятых инверсий в течение суток в рассматриваемых пунктах показал, что абсолютный максимум наблюдался в Екатеринбурге зимой в дневное время (27,31%), что может объясняться континентальностью климата, большой повторяемостью холодных антициклонов и влиянием орографических условий расположения (Уральские горы способствуют застаиванию холодного воздуха). Зимой повторяемость приподнятых инверсий в ночное время выше, чем в дневное на всех рассматриваемых аэродромах (Санкт-Петербург: 17,26% против 13,97%; Петрозаводск: 18,63% против 15,62%; Екатеринбург: 18,59% против 27,31%). В остальные сезоны суточные различия выражены слабо или отсутствуют.

Показателями, характеризующими потенциальную опасность инверсионного слоя для выполнения полетов, являются вертикальный градиент температуры γ , определяющий интенсивность изменения плотности воздуха с высотой, и мощность инверсии ΔH .

Для всех случаев инверсии, как приземных, так и приподнятых, определялись следующие параметры: мощность инверсионного слоя:

$$\Delta H = H_B - H_N, \quad (1)$$

где ΔH — мощность инверсионного слоя, м;

H_B — верхняя граница инверсии, м;

H_N — нижняя граница инверсии, м;

глубина инверсии (разность температур на границах слоя):

$$\Delta T = T_B - T_N, \quad (2)$$

где ΔT — глубина инверсии, °C;

T_B — температура на верхней границе инверсии, °C;

T_N — температура на нижней границе инверсии, °C;

вертикальный градиент температуры в слое инверсии:

$$\gamma = \left(\frac{\Delta T}{\Delta H} \right) \times 100, \quad (3)$$

где γ — вертикальный градиент температуры, °C/100 м.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Количество (число случаев) инверсий в зависимости от мощности, градиента температуры и времени суток по аэродромам Пулковое, Петрозаводск и Кольцово

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.65.3>

Пункт	Время суток	γ , °C/100 м \ ΔH , м	Мощность ΔH , м						Всего
			0–50	50–100	100–200	200–300	300–500	>500	
Пулковое	День	0–1	1	13	43	58	48	36	199
		1–2	-	9	21	12	7	2	51
		2–3	1	5	8	2	3	-	19
		3–4	-	-	-	1	-	-	1
		4–5	1	-	-	-	-	-	1
		5–6	1	-	1	-	-	-	2
		>6	1	-	-	-	-	-	1
		Всего	-	-	-	-	-	-	274
	Ночь	0–1	3	14	64	47	72	49	249
		1–2	2	10	27	54	25	3	121
		2–3	-	4	19	16	4	1	44
		3–4	-	-	3	1	-	-	4
		4–5	-	-	1	-	-	-	1
		5–6	-	1	-	-	-	-	1
		>6	-	-	-	-	-	-	-
		Всего	-	-	-	-	-	-	420
Петрозаводск	День	0–1	2	13	38	48	48	30	179
		1–2	3	5	35	17	9	4	73
		2–3	2	6	13	2	2	-	25
		3–4	3	3	1	-	1	-	8
		4–5	-	-	4	-	-	-	4
		5–6	-	1	-	-	-	-	1
		>6	3	2	1	-	-	-	6
		Всего	-	-	-	-	-	-	296
	Ночь	0–1	1	16	47	56	55	42	217
		1–2	3	24	49	23	12	-	111
		2–3	6	14	23	7	2	1	53
		3–4	1	5	7	2	-	-	15
		4–5	3	5	2	4	-	-	14
		5–6	-	2	5	1	-	-	8
		>6	7	10	4	-	-	-	21
		Всего	-	-	-	-	-	-	439
Кольцово	День	0–1	10	16	46	41	32	10	155
		1–2	9	11	29	25	22	9	105
		2–3	4	4	7	1	1	-	17
		3–4	3	2	1	-	-	-	6
		4–5	1	-	-	-	-	-	1
		5–6	-	-	-	-	-	-	-
		>6	1	-	-	-	-	-	1
		Всего	-	-	-	-	-	-	285
	Ночь	0–1	4	5	53	54	61	21	198
		1–2	10	19	41	62	53	9	194
		2–3	5	6	27	11	8	-	57
		3–4	11	13	3	-	-	-	27
		4–5	6	2	3	-	-	-	11
		5–6	3	-	1	-	-	-	4

Пункт	Время суток	γ , °C/100 м \ ΔH , м	Мощность ΔH , м						Всего
			0–50	50–100	100–200	200–300	300–500	>500	
		>6	6	1	-	-	-	-	7
		Всего	-	-	-	-	-	-	498

Из таблицы следует, что в Санкт-Петербурге как в дневное, так и в ночное время преобладали инверсии с градиентами $\gamma < 2$ °C/100 м. В дневные часы на их долю приходится 250 случаев из 274 (91,2%), в ночные — 370 из 421 (87,9%). При этом мощность таких инверсий варьируется в широких пределах — от 50 до более чем 500 м, с максимумом повторяемости в диапазоне 100–300 м. Инверсии с градиентом выше 3 °C/100 м отмечались редко: 5 случаев днем (1,8%) и 6 ночью (1,4%). Все они имели мощность менее 200 м. В ночные часы не зафиксировано ни одной инверсии с градиентом выше 6 °C/100 м, а в дневное время — 1 случай.

В Петрозаводске наблюдалось значительное количество инверсий с более высокими значениями градиента. В дневные часы зафиксировано 19 случаев инверсий с градиентом выше 3 °C/100 м, в ночные — 58 случаев. При этом в ночные часы из 58 инверсий с $\gamma > 3$ °C/100 м 48 имеют мощность менее 200 м. Инверсии с градиентом выше 6 °C/100 м отмечены в 21 случае ночью и в 6 случаях днем; все они имеют мощность менее 200 м, из них 17 — менее 100 м.

В Екатеринбурге отмечается повышенная по сравнению с другими пунктами доля инверсий с градиентом от 1 до 4 °C/100 м при мощности до 100 м. Также Екатеринбург отличается значительной долей инверсий с мощностью более 200 м: 177 случаев ночью против 112 в Петрозаводске. Инверсии с градиентом выше 6 °C/100 м отмечены в 7 случаях ночью и в 1 случае днем; все они имеют мощность менее 100 м.

Общей закономерностью для всех трех пунктов является преобладание ночных инверсий над дневными. Отношение числа ночных инверсий к дневным составляет 1,54 для Санкт-Петербурга, 1,48 для Петрозаводска и 1,75 для Екатеринбурга.

Влияние температурных инверсий на угол набора высоты воздушного судна SSJ-100

Температура воздуха у земли и характер ее изменения с высотой влияют на летно-технические характеристики, как было описано выше. Далее в настоящем исследовании рассмотрено влияние температурной инверсии при различной температуре воздуха у земли на изменение располагаемой тяги и угла подъема самолета SSJ-100 на участке полета от достижения скорости V_2 (минимальная скорость, которую самолет должен набрать после отрыва от взлетно-посадочной полосы) до высоты 240 метров. Высота 240 м (800 футов) выбрана в качестве расчетной, поскольку она является стандартной высотой начала уменьшения режима работы двигателей (thrust reduction height) при выполнении процедур NADP 1 (Noise Abatement Departure Procedure) в большинстве российских авиакомпаний. Кроме того, эта высота соответствует верхней границе этапа первоначального набора высоты, на котором запас по градиенту критичен для безопасного пролета препятствий в зоне взлета.

Набор высоты — равномерное и прямолинейное движение самолета вверх по траектории, наклонной к горизонту. Угол, заключенный между траекторией набора высоты и линией горизонта, называется углом подъема φ . Для того чтобы набор происходил с постоянной скоростью, необходимо обеспечить равенство сил вдоль траектории набора.

Так как при установившемся движении самолета силы и моменты уравновешены, то можно считать, что все силы расположены в центре тяжести самолета. Условием прямолинейности набора высоты является равенство:

$$Y_a = mg * \cos \theta, \quad \theta = \text{const}, \quad (4)$$

где Y_a — подъемная сила;

mg — вес самолета;

θ — угол подъема.

Для того чтобы набор происходил с постоянной скоростью, необходимо обеспечить равенство сил вдоль траектории набора, а именно:

$$P = X_a + mg * \sin \theta, \quad V_H = \text{const}, \quad (5)$$

где P — сила тяги, Н;

X_a — лобовое сопротивление, Н;

θ — угол подъема, °;

V_H — скорость набора высоты, м/с.

Из уравнения (5) получим формулу для определения угла подъема:

$$\sin \theta = \frac{P - X}{mg} = \frac{\Delta P}{mg}, \quad (6)$$

где ΔP — избыток тяги, Н.

Угол подъема зависит от избытка тяги и веса самолета. При заданной приборной скорости полета лобовое сопротивление не зависит от высоты и температуры. При повышении температуры потребная тяга остается постоянной, а располагаемая тяга уменьшается.

Для иллюстрации влияния инверсионных слоев на характеристики набора высоты были отобраны три случая, зафиксированных в исследуемых пунктах. Каждый случай представляет собой инверсию с большим значением глубины, наблюдавшуюся на соответствующем аэродроме за исследуемый период и изображен на рисунках 3 и 4.

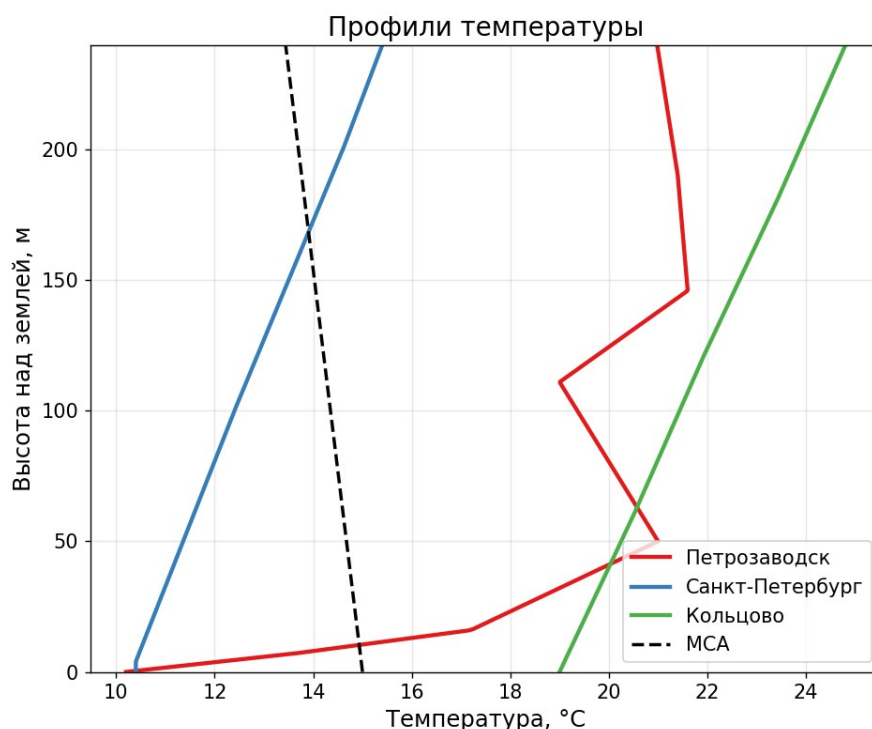


Рисунок 3 - Профили температуры для трех характерных случаев температурных инверсий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.65.4>

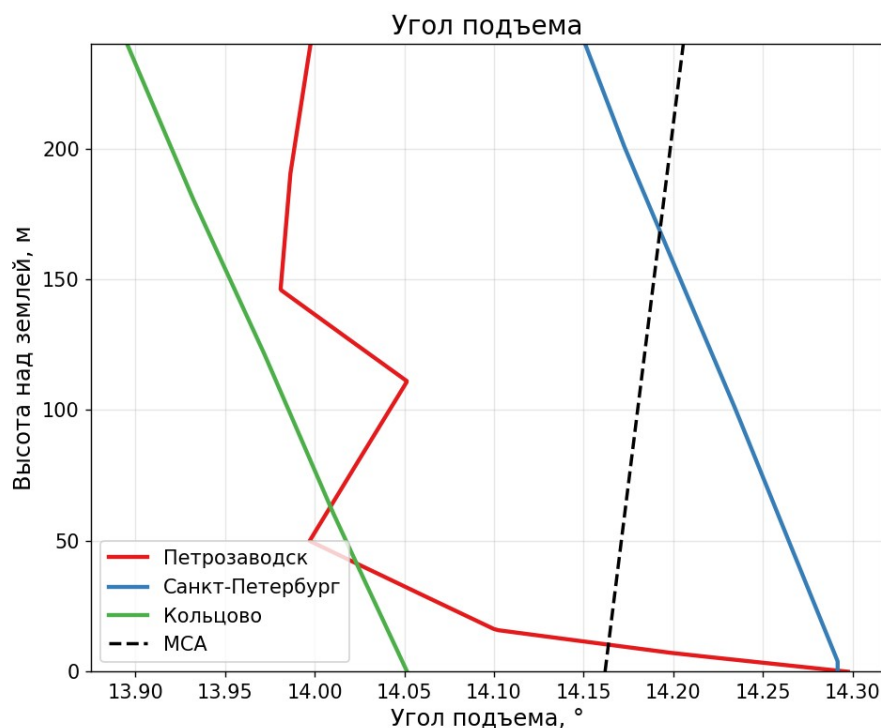


Рисунок 4 - Профили угла подъема SSJ-100 для трех характерных случаев температурных инверсий
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.170.65.5>

В Петрозаводске 27.06.2024 в 00:00 UTC (всемирное координированное время) наблюдался сложный профиль температуры с наличием двух слоев инверсий. Первая инверсия располагалась непосредственно от уровня земли до высоты 50 м с глубиной $\Delta T = 10,8$ °C. Вторая инверсия находилась в слое 111–146 м с $\Delta T = 2,6$ °C. Температура у земли составляла +10,2 °C, что на 4,8 °C ниже стандартной. На начальном участке траектории до 16 м угол подъема был выше стандартного за счет отрицательного отклонения температуры от МСА. При попадании в первую инверсию температура резко возросла с +10,2 до +21,0 °C, что привело к падению плотности воздуха и снижению располагаемой

тяги двигателей, расчетный угол подъема отличается от стандартного по МСА на $0,21^\circ$ — $13,97^\circ$ против $14,18^\circ$. На высоте 240 м угол подъема составит $14,00^\circ$ против $14,21^\circ$ в стандартной атмосфере — снижение на $0,21^\circ$.

В Санкт-Петербурге 14.06.2024 в 00:00 UTC (UTC) была зафиксирована приземная инверсия с глубиной $\Delta T = 6,4^\circ\text{C}$, мощность инверсионного слоя составила 302 м, температура у земли $+10,4^\circ\text{C}$. На участке до 170 м угол подъема выше стандартного за счет отрицательного отклонения температуры от МСА. Однако по мере набора высоты температура в инверсии растет, и к высоте 240 м угол подъема станет меньше стандартного на $0,18^\circ$.

В Кольцово 13.06.2024 в 00:00 UTC наблюдалась приземная инверсия мощностью 240 м с глубиной $\Delta T = 5,8^\circ\text{C}$. Нижняя граница инверсии располагалась на уровне земли, температура составляла $+19,0^\circ\text{C}$. В отличие от двух предыдущих случаев, в Кольцово угол подъема был меньше стандартного с самого начала траектории вследствие высокой температуры у земли. По мере набора высоты температура в инверсии продолжала расти, достигая $+24,8^\circ\text{C}$ на высоте 240 м, что на $11,4^\circ\text{C}$ выше стандартного значения. На высоте 240 м угол подъема составил $13,89^\circ$ против $14,2^\circ$ в МСА — меньше на $0,31^\circ$. Снижение угла подъема происходило плавно по всей траектории, без резких скачков, что объясняется однородностью инверсионного слоя.

Заключение

Проведенное исследование показало, что температурные инверсии в нижнем слое атмосферы являются характерной особенностью температурного режима пограничного слоя атмосферы в районах рассматриваемых аэродромов. Во всех трех пунктах — Санкт-Петербург, Петрозаводск и Екатеринбург — инверсии чаще наблюдались в ночное время и в холодный период года, что связано с радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности и влиянием антициклонов, что приводит к формированию более устойчивой стратификации атмосферы.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что преимущественное большинство инверсий характеризуются вертикальным градиентом температуры до $2^\circ\text{C}/100\text{ м}$. Инверсии с большими градиентами встречаются реже и, как правило, отличаются небольшой вертикальной мощностью. Поэтому при оценке их влияния на безопасность полетов необходимо учитывать не только величину градиента температуры, но и мощность инверсионного слоя, его высотное положение, а также отклонение фактической температуры от стандартных значений.

Расчет характеристик первоначального набора высоты самолета SSJ-100 показал, что наиболее заметное влияние инверсий проявляется в тех случаях, когда повышение температуры с высотой сохраняется в пределах значительной части рассматриваемого слоя. Так, в случае Кольцово сочетание приземной инверсии и температуры у земли выше МСА привело к снижению расчетного угла подъема на высоте 240 м с $14,2^\circ$ в стандартной атмосфере до $13,89^\circ$.

Таким образом, температурные инверсии следует рассматривать как один из метеорологических факторов, способных влиять на характеристики взлета и первоначального набора высоты. Наибольшую значимость для выполнения полетов имеют инверсии, расположенные в нижнем 300-метровом слое атмосферы при температурах выше, чем в стандартных условиях. Полученные результаты могут быть использованы при оценке влияния температурного режима пограничного слоя атмосферы на параметры взлета и в целом на безопасность полетов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии / Н.А. Дашко. — Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2005. — 523 с.
2. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология / В.А. Позднякова. — Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. — 70 с.
3. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии: учебник / О.Г. Богаткин. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2009. — 339 с.
4. Шкляев В.А. Исследование инверсий нижней атмосферы по результатам наблюдений метеорологического температурного профилимера и радиозондирования / В.А. Шкляев, Л.С. Шкляева // Географический вестник. Серия: Метеорология. — 2014. — № 4 (31). — С. 62–66.
5. Фисенко А.О. Исследование инверсии температуры в арктической зоне Российской Федерации. / А.О. Фисенко, О.В. Волобуева // Фундаментальные и прикладные исследования в гидрометеорологии: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры общего землеведения и гидрометеорологии БГУ. — Минск: БГУ, 2023. — С. 254–259.
6. Безуглая Э.Ю. Инверсии нижней тропосферы и их влияние на загрязнение воздуха Москвы / Э.Ю. Безуглая // Труды ГГО. — 1968. — № 207. — С. 202–206.
7. Кораблев Ю.Н. Оперативное информирование экипажей воздушных судов об опасных метеоявлениях в районах арктических посадочных площадок / Ю.Н. Кораблев // Научный вестник МГТУ ГА. — Москва: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2018. — Вып. 5.
8. Бабилов М.А. Авиационная метеорология / М.А. Бабилов. — Москва: ДОСАРМ, 1951. — 208 с.



9. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах : Doc 9817, AN/449 / Международная организация гражданской авиации. — Монреаль : ИКАО, 2005.

10. University of Wyoming Atmospheric Science Radiosonde Archive. — URL: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed: 08.07.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dashko N.A. Kurs lektzii po sinopticheskoi meteorologii [A course of lectures on synoptic meteorology] / N.A. Dashko. — Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2005. — 523 p. [in Russian]

2. Pozdnyakova V.A. Prakticheskaya aviatsionnaya meteorologiya [Practical aviation meteorology] / V.A. Pozdnyakova. — Yekaterinburg: Ural Aviation Training Center, 2010. — 70 p. [in Russian]

3. Bogatkin O.G. Osnovy aviacionnoj meteorologii : uchebnik [Fundamentals of aviation meteorology: textbook] / O.G. Bogatkin. — St. Petersburg: RGGMU, 2009. — 339 p. [in Russian]

4. Shklyayev V.A. Issledovanie inversij nizhnej atmosfery' po rezul'tatam nablyudenij meteorologicheskogo temperaturnogo profilemera i radiozondirovaniya [Investigation of inversions of the lower atmosphere based on the results of observations of a meteorological temperature profiler and radiosonde] / V.A. Shklyayev, L.S. Shklyayeva // Geographical Bulletin. Series: Meteorology. — 2014. — № 4 (31). — P. 62–66. [in Russian]

5. Fisenko A.O. Issledovanie inversii temperaturi v arkticheskoi zone Rossiiskoi Federatsii [Research of inversion in the Arctic zone of the Russian Federation] / A.O. Fisenko, O.V. Volobueva // Fundamental and applied research in hydrometeorology: proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Department of General Earth Sciences and Hydrometeorology of BSU. — Minsk: BGU, 2023. — P. 254–259. [in Russian]

6. Bezuglaya E'.Yu. Inversii nizhnej troposfery' i ix vliyanie na zagryaznenie vozduxa Moskvy' [Inversions of the lower troposphere and their impact on Moscow's air pollution] / E'.Yu. Bezuglaya // The works of the GGO. — 1968. — № 207. — P. 202–206. [in Russian]

7. Korablev Yu.N. Operativnoe informirovanie ekipazhei vozdushnikh sudov ob opasnikh meteoyavleniyakh v raionakh arkticheskikh posadochnikh ploshchadok [Prompt informing of aircraft crews about dangerous weather events in areas of Arctic landing sites] / Yu.N. Korablev // Civil Aviation High TECHNOLOGIES. — Moscow: Moskovskii gosudarstvennii tekhnicheskii universitet grazhdanskoi aviatsii, 2018. — Iss. 5. [in Russian]

8. Babikov M.A. Aviacionnaya meteorologiya [Aviation meteorology] / M.A. Babikov. — Moscow: DOSARM, 1951. — 208 p. [in Russian]

9. Rukovodstvo po sdvigu vetra na malyh vysotah : Doc 9817, AN/449 [Manual on Low-level Wind Shear : Doc 9817, AN/449] / International Civil Aviation Organization. — Montreal : ICAO, 2005. [in Russian]

10. University of Wyoming Atmospheric Science Radiosonde Archive. — URL: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed: 08.07.2026).