ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / TECHNICAL SCIENCES

УДК 665.753.2: 629.7.063.6 https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/14

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ НАЧАЛА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА ТС-1 РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

©Герасимова В. В*., ORCID: 0009-0001-8065-9782, Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Бирск, Россия, vera4003715@mail.ru*
©Егорова Э. Я*., ORCID: 0009-0002-0016-5473, SPIN code: 3768-2478, канд. пед. наук, Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Бирск, Россия, ego38@yandex.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ONSET CRYSTALLIZATION TEMPERATURE OF TS-1 AVIATION FUEL FROM DIFFERENT MANUFACTURERS

©Gerasimova V*., ORCID: 0009-0001-8065-9782, Birsk Branch of Ufa University of Science and Technology, Birsk, Russia, vera4003715@mail.ru*
©Egorova E*., ORCID: 0009-0002-0016-5473, SPIN code: 3768-2478, Ph.D., Birsk Branch of the Ufa University of Science and Technology, Birsk, Russia, ego38@yandex.ru*

Аннотация. Безопасность полетов и надежность эксплуатации воздушных судов в условиях экстремально низких температур Арктической зоны напрямую зависят от стабильности низкотемпературных свойств авиационных топлив. Критическим параметром, определяющим хладотекучесть и бесперебойную прокачиваемость топлива, является температура начала кристаллизации (ТНК), превышение которой приводит к выпадению твердой фазы и риску блокировки топливных фильтров. Представлен сравнительный анализ ТНК авиационного керосина марки ТС-1, произведенного четырьмя ведущими российскими нефтеперерабатывающими предприятиями (закодированными как А, Б, В и Г). Испытания проводились в сертифицированной лаборатории по методу ГОСТ 5066 с применением автоматического анализатора «КРИСТАЛЛ 20». Выявлены существенные различия хладотекучести в зависимости от завода-изготовителя. Образцы производителей А, Б и В продемонстрировали высокую фазовую стабильность (ТНК от −62,3 °С до −66,8 °С), что обеспечивает надежный запас прочности относительно требований ГОСТ 10227 (не выше −60 °С) для полярной авиации. Продукция производителя Г показала ТНК −58,7 °С, что соответствует базовому стандарту, однако накладывает эксплуатационные ограничения согласно ГОСТ 16350. Дополнительно проведен анализ влияния сезонных колебаний температур в арктических регионах на допустимую продолжительность хранения топлива на аэродромах без потери низкотемпературных характеристик. Рассмотрены типичные сценарии эксплуатации в удаленных аэропортах, где отсутствует возможность оперативной замены партии ГСМ: в таких условиях даже незначительное отклонение ТНК от оптимальных значений способно привести к критическому снижению пропускной способности топливной системы. Сделан вывод о необходимости учета фактора производителя при входном контроле ГСМ для арктических регионов. Рекомендовано включать в процедуры приемки не только проверку соответствия базовым нормативам, но и оценку запаса по ТНК с учетом прогнозируемых минимальных температур в районе эксплуатации. Такой подход позволит минимизировать риски отказов топливной аппаратуры и повысить общую надежность авиационной техники в экстремальных климатических условиях.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

Abstract. Flight safety and the reliability of aircraft operations under the extremely low temperatures of the Arctic Zone depend directly on the stability of the low-temperature properties of aviation fuels. The critical parameter determining the cold-flow properties and uninterrupted pumpability of fuel is the freezing point (the onset of crystallization, TNK); exceeding it leads to the precipitation of a solid phase and the risk of fuel filter blockage. This article presents a comparative analysis of the freezing point of TS-1 aviation kerosene produced by four leading Russian oil refineries (coded as A, B, V, and G). The tests were conducted in a certified laboratory using the GOST 5066 method with the "KRISTALL-20" automatic analyzer. Significant differences in cold-flow properties depending on the manufacturer were revealed. Samples from manufacturers A, B, and V demonstrated high phase stability (freezing points from −62.3 °C to −66.8 °C), ensuring a reliable safety margin relative to GOST 10227 requirements (not higher than −60 °C) for polar aviation. The product from manufacturer G showed a freezing point of −58.7 °C, which meets the baseline standard but imposes operational limitations according to GOST 16350. Additionally, an analysis was conducted on the impact of seasonal temperature fluctuations in Arctic regions on the permissible storage duration of fuel at airfields without loss of low-temperature characteristics. Typical operational scenarios in remote airports, where the possibility of prompt replacement of a fuel batch is absent, were considered: under such conditions, even a slight deviation of the freezing point from optimal values can lead to a critical reduction in fuel system throughput. It was concluded that the manufacturer factor must be taken into account during the incoming quality control of aviation fuels for Arctic regions. It is recommended to include in acceptance procedures not only verification of compliance with baseline standards but also an assessment of the freezing point margin, taking into account forecast minimum temperatures in the area of operation. This approach will minimize the risk of fuel system failures and enhance the overall reliability of aviation equipment under extreme climatic conditions.

Ключевые слова: авиационное топливо, керосин ТС-1, температура начала кристаллизации, хладотекучесть, низкотемпературные свойства, Арктическая зона, химмотология, ГОСТ 10227.

Keywords: jet fuel, TS-1 kerosene, crystallization onset temperature, cold flowability, low-temperature properties, Arctic zone, chemmotology, GOST 10227.

Авиационное топливо является критически важным компонентом в обеспечении безопасности и эффективности воздушных перевозок. Надежность эксплуатации воздушных судов в Арктической зоне во многом определяется сохранением текучести авиационного топлива при воздействии предельно низких температур. Критическим и ключевым параметром является температура начала кристаллизации, при достижении которой из углеводородной смеси выделяются твердые кристаллические фазы. Их накопление способно нарушить работу фильтров, насосов и элементов топливной автоматики, а также ограничить подачу топлива к двигателю и, как следствие, может привести к аварийным ситуациям. Особое значение имеет сорт авиационного керосина ТС-1, широко применяемый в гражданской авиации. Различия в сырьевой базе, технологических процессах и системах контроля качества у различных производителей могут приводить к вариациям в свойствах конечного продукта, даже при соответствии партии требованиям нормативной документации фактическая устойчивость топлива к охлаждению может различаться [1].

Особенно существенны различия между образцами, полученными на разных нефтеперерабатывающих предприятиях. Данное исследование направлено на проведение

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

сравнительного анализа температуры начала кристаллизации авиационного топлива марки ТС-1, произведенного различными предприятиями, с целью выявления существенных различий и оценки их влияния на эксплуатационные характеристики в арктических климатических условиях. В работе сопоставляются лабораторные характеристики образцов ТС-1 от разных производителей топлива этой марки. Отдельное внимание уделяется соответствию показателей топлива требованиям ГОСТ 10227 и специальным условиям его применения в арктической авиации [1, 2].

Полученные данные должны использоваться при выборе кондиционной продукции, организации входного и периодического контроля, а также при установлении допустимых режимов заправки и эксплуатации воздушных судов.

Материалы и методы

Для проведения сравнительного анализа было отобрано по три образца авиационного топлива марки ТС-1 от четырех ведущих российских производителей. Образцы были получены в течение одного календарного года для минимизации влияния сезонных факторов. Для сохранения конфиденциальности предприятия обозначали кодами А, Б, В, Г. В выборку включали керосин, предназначенный для эксплуатации в обычных и северных регионах, без предварительного смешения образцов между собой. Определение температуры начала кристаллизации образцов выполнялись по методам, регламентированным ГОСТ 5066 (ASTM D2386) [3, 4], для оценки соответствия топлива ТС-1 требованиям ГОСТ 10227 [1].

Испытания проводились в сертифицированной лаборатории на стандартизированном оборудовании, включающем автоматический анализатор «КРИСТАЛЛ-20», прецизионные термометры, калиброванные емкости для пробоподготовки и вспомогательные приспособления. Перед анализом каждую пробу выдерживали при комнатной температуре, перемешивали осторожным переворачиванием емкости и проверяли на отсутствие воды, механических примесей и расслоения. Предварительно отфильтрованный для удаления механических примесей и следов свободной воды образец топлива ТС-1 заливают в сухую испытательную пробирку, после чего помещают её в термостатирующую ячейку прибора для проведения измерений. Каждое измерение повторялось не менее трех раз для повышения достоверности результатов.

Результаты и обсуждения

Полученные данные по температуре начала кристаллизации для образцов топлива ТС-1 от разных производителей представлены в Таблице.

Таблица

РЕЗУЛЬТАТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВА ТС-1

НПЗ	*Среднее Т° (начало кристаллизации)*	*Стандартное отклонение, °С*	*Требование ГОСТ 10227, °С*	*Запас прочности по кристаллизации, °С*	*Соответствие стандарту*
Производитель А	-66,8	0,2	-60	6,8	соответствует
Производитель Б	-62,3	0,3	-60	2,3	соответствует
Производитель В	-64,7	0,2	-60	4,7	соответствует
Производитель Г	-58,7	0,3	-50	1,3	соответствует*

* Соответствует, но не подходит для применения в климатических районах I_1 (холодный) и II_1 (арктический).

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

Анализ результатов определения температуры начала кристаллизации исследуемых образцов авиационного топлива марки ТС-1 выявил существенные различия в их низкотемпературных свойствах в зависимости от завода-изготовителя. Наилучшие низкотемпературные характеристики продемонстрировал Производитель А, у которого среднее значение температуры начала кристаллизации составило -66,8 °С, что обеспечивает максимальный запас прочности по кристаллизации (6,8 °С) относительно жесткого норматива в -60 °С. Образцы Производителя В (-64,7 °С) и Производителя Б (-62,3 °С) также с запасом удовлетворяют повышенным требованиям (не выше -60 °С), предъявляемым к топливу для арктических и холодных регионов. Минимальные значения стандартного отклонения (от 0,2 до 0,3°С) для всех серий измерений на приборе «КРИСТАЛЛ-20» свидетельствуют о высокой сходимости результатов, однородности тестируемых партий нефтепродуктов и корректности проведения лабораторных испытаний в рамках требований ГОСТ 5066.

Образец от Производителя Г показал температуру начала кристаллизации -58,7 °С. Формально это значение полностью укладывается в базовый стандарт ГОСТ 10227 для первой/высшей категории качества (не выше -50 °С) с запасом в 1,3 °С. Однако данный образец не может быть рекомендован для эксплуатации в особо суровых климатических районах I_1 (холодный) и II_1 (арктический) согласно ГОСТ 16350 [2], где минимальная температура воздуха и высотные условия требуют от реактивного топлива гарантированной текучести при температурах ниже -60 °С, но в том же ГОСТе есть важное уточнение: если топливо с температурой начала кристаллизации не выше −50 °С планируется использовать в арктических (или холодных) районах, это допустимо только при условии, что температура воздуха у земли не опускалась ниже −30 °С в течение 24 часов до вылета. То есть −60 °С — это базовый стандарт для Арктики, а вариант с −50 °С — специальная оговорка для менее экстремальных, но всё ещё суровых условий.

Важно отметить, что даже незначительные колебания температуры начала кристаллизации могут иметь значение при эксплуатации воздушных судов в экстремально низких температурах. Например, при температурах ниже -50 °С, различия в несколько градусов Цельсия могут стать критическими. Причины выявленных различий могут быть обусловлены такими факторами как исходное сырье, где различные источники нефти могут содержать различное количество парафиновых углеводородов, глубина переработки и технологии удаления н-парафинов [5, 6].

Заключение

Проведенный сравнительный анализ температуры начала кристаллизации авиационного топлива марки ТС-1 подтвердил наличие значительных различий в низкотемпературных характеристиках продукции ведущих российских производителей, напрямую определяющих безопасность и надежность эксплуатации воздушных судов в Арктической зоне. Образцы от Производителей А, Б и В обладают повышенной устойчивостью к охлаждению с температурой начала кристаллизации от -62,3 °С до -66,8 °С, что полностью удовлетворяет жестким полярным требованиям (не выше -60 °С) с надежным запасом прочности. Продукция Производителя Г соответствует базовому стандарту ГОСТ 10227 (-58,7 °С при норме не выше -50 °С), однако ее применение в арктических и холодных районах (I_1 и II_1) накладывает жесткие температурные ограничения: эксплуатация допускается только при условии, что температура воздуха у земли не опускалась ниже -30 °С в течение суток до вылета (согласно ГОСТ 16350). Для обеспечения бесперебойной и безопасной круглогодичной эксплуатации авиационной техники в экстремальных условиях арктических широт и в зонах интенсивного охлаждения топливных баков рекомендуется приоритетное использование топлива от Производителей А и В. Полученные результаты имеют практическое значение для авиакомпаний и предприятий,

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

осуществляющих поставку и контроль качества авиационного топлива, позволяя более обоснованно подходить к выбору поставщиков и оценке рисков, связанных с эксплуатацией в условиях низких температур.

Список литературы:

1. ГОСТ 10227-2013. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. Взамен ГОСТ 10227-86; введ. 2015-01-01. М., 2014. 19 с.

2. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. Взамен ГОСТ 16350-70; введ. 1981-07-01. М., 1981. 113 с.

3. ГОСТ 5066-91 (ИСО 3013-74). Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и замерзания. Введ. 1993-01-01. М., 1992. 13 с.

4. ASTM D2386-19. Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels. West Conshohocken: ASTM International, 2019. 7 p.

5. Гуреев А. А., Серегин Е. П., Азев В. С. Химмотология реактивных топлив. М.: Химия, 1986. 288 с.

6. Данилов А. М. Применение присадок в топливах. СПб: Химиздат, 2010. 368 с.

References:

1. GOST 10227-2013 (2014). Topliva dlya reaktivnykh dvigatelei. Tekhnicheskie usloviya. Vzamen GOST 10227-86; vved. 2015-01-01. Moscow. (in Russian).

2. GOST 16350-80 (1981). Klimat SSSR. Raionirovanie i statisticheskie parametry klimaticheskikh faktorov dlya tekhnicheskikh tselei. Vzamen GOST 16350-70; vved. 1981-07-01. Moscow. (in Russian).

3. GOST 5066-91 (ISO 3013-74) (1992). Topliva motornye. Metody opredeleniya temperatury pomutneniya, nachala kristallizatsii i zamerzaniya. Vved. 1993-01-01. Moscow. (in Russian).

4. ASTM D2386-19 (2019). Standard Test Method for Freezing Point of Aviation Fuels. West Conshohocken.

5. Gureev, A. A., Seregin, E. P., & Azev, V. S. (1986). Khimmotologiya reaktivnykh topliv. Moscow. (in Russian).

6. Danilov, A. M. (2010). Primenenie prisadok v toplivakh. St. Petersburg. (in Russian).

Поступила в редакцию
29.09.2026 г.

Принята к публикации
08.10.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Герасимова В. В., Егорова Э. Я. Сравнительный анализ температуры начала кристаллизации авиационного топлива ТС-1 различных производителей // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №11. С. 122-126. https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/14

Cite as (APA):

Gerasimova, V., & Egorova, E. (2026). Comparative Analysis of the Onset Crystallization Temperature of TS-1 Aviation Fuel from Different Manufacturers. *Bulletin of Science and Practice, 12*(11), 122-126. (in Russian). https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/14

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)