

Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1

© В.А. Алтунин¹, М.В. Львов¹, А.А. Юсупов¹, А.А. Щиголов¹,
Ю.Ф. Гортышов¹, Е.П. Кореев¹, М.Л. Яновская²

¹КНИТУ им. А.Н. Туполева — КАИ, Казань, 420111, Россия

²ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, 111116, Россия

Проведены экспериментальные исследования влияния поперечных электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции в кольцевом канале при различных плотностях теплового потока рабочей нагреваемой трубки, различных давлениях и скоростях прокачки масла, различных расстояниях между рабочими соосными иглами и подаваемых высоковольтных электростатических напряжений. Создана экспериментальная база данных по температуре стенки рабочей нагреваемой трубки и коэффициенту теплоотдачи к моторному авиационному маслу при различных рабочих параметрах без учета и с учетом влияния поперечных электростатических полей. Обнаружена зона насыщения электростатическими полями, в которой дальнейшее повышение подаваемого на отдающую иглу электростатического напряжения не приводит к уменьшению температуры стенки рабочей трубки и к увеличению коэффициента теплоотдачи к моторному маслу, значения которых остаются постоянными. В части 1 статьи показаны результаты влияния поперечных электростатических полей на понижение температуры металлической стенки рабочей трубки в кольцевом канале и на изменение коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 в зависимости от плотности теплового потока и величины подаваемого электростатического напряжения при различных скоростях прокачки и давлениях. Применение результатов исследования будет способствовать созданию новых масляных систем повышенных характеристик для двигателей летательных аппаратов, энергоустановок и технических систем различного назначения и применения.

Ключевые слова: моторное авиационное масло, вынужденная конвекция, тепловые процессы, кольцевой канал, нагреваемая металлическая трубка, температура, давление, скорость прокачки, плотность теплового потока, электростатические поля, соосные рабочие иглы

Введение. Решением существующих проблем моторных авиационных масел и созданием совершенных систем смазки двигателей летательных аппаратов (ЛА), энергоустановок (ЭУ) и технических систем (ТС) занимаются многие ученые [1–25]. Данная статья — очередная в цикле публикуемых в этом журнале статей об исследовании тепловых процессов в моторном авиационном масле марки МС-20 (предыдущие статьи были посвящены исследованиям без учета влияния электростатических полей E [18, 21, 22]).

Анализ научно-технической литературы [1–25] показал, что исследования влияния электростатических полей E на тепловые процессы в различных маслах проводили:

– в касторовом, подсолнечном и трансформаторном маслах — Р.Ф. Бабой, М.К. Болога, Г.А. Остроумов, Ю.Я. Иоссель, К.Н. Семёнов, И.И. Берил, Н.А. Потапов, Ф.П. Гросу, И.А. Кожухарь, Ю.Н. Бубнов и др. [4–6, 10, 13];

– в моторных авиационных маслах при их естественной конвекции — В.А. Алтунин, А.А. Щиголов [7, 10].

Однако отсутствуют исследования влияния электростатических полей E на тепловые процессы в моторных авиационных маслах при их вынужденной конвекции.

Ранее авторами В.А. Алтуниным и А.А. Щиголовым было установлено, что в условиях естественной конвекции электростатические поля влияют не только на интенсификацию теплоотдачи к моторным авиационным маслам, но и на предотвращение осадкообразования на нагреваемых деталях, находящихся в их объеме [6, 7, 10–13, 15]. Возникает обоснованная необходимость в проведении экспериментального исследования влияния поперечных электростатических полей на тепловые процессы в условиях вынужденной конвекции моторных авиационных масел. В предыдущих статьях этих авторов были подробно описаны и представлены экспериментальные установки и рабочие участки с электростатическими полями E , где в качестве электродов применялась система типа «игла — игла» [21, 22], а также раскрыты методики проведения исследований без включения и с включением электростатического напряжения.

Материалы данной статьи актуальны, необходимы и важны, так как приводят результаты впервые проведенного экспериментального исследования по влиянию поперечных электростатических полей E на интенсификацию теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 при различных рабочих параметрах. Результаты исследования влияния этих полей на осадкообразование в условиях вынужденной конвекции моторного масла марки МС-20 будут опубликованы в следующих номерах данного журнала.

Цель настоящей статьи — опубликование результатов экспериментального исследования влияния поперечных электростатических полей E на понижение температуры стенки металлической рабочей трубки и на повышение коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции в кольцевом канале для различных рабочих параметров по плотности теплового потока, скорости прокачки масла, давлению, расстоянию между рабочими соосными иглами и подаваемому на отдающую иглу значению высоковольтного электростатического напряжения.

Порядок выполнения экспериментов. Для проведения экспериментальных исследований теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 при использовании электростатических полей E были выбраны следующие параметры:

- рабочая жидкость — авиационное моторное масло марки МС-20;
- скорость прокачки (потока) рабочей жидкости $W = 1 \dots 4$ м/с;
- давление в системе $p = 0,5 \dots 1,0$ МПа;
- температура жидкости $T_{ж} = 313$ К;
- температура нагреваемой поверхности $T_{ст} = 313 \dots 433$ К;
- плотность теплового потока $q = (0,1 \dots 10) \cdot 10^4$ Вт/м²;
- расстояние между соосными рабочими иглами $h = 6 \dots 10$ мм;
- подаваемое электростатическое напряжение на отдающую иглу $U = 0 \dots 30$ кВ.

Рабочий участок экспериментальной установки представляет собой кольцевой канал с внешней трубкой из оргстекла и внутренней сменной металлической трубкой из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т, нагреваемой с помощью джоулевой теплоты [16, 19–21, 23, 25]. Внутри металлической трубки расположена подвижная термомпара, позволяющая измерять $T_{ст}$ по центру и по всей длине рабочего участка. В кольцевом канале прокачивалась рабочая жидкость с температурой $T_{ж}$, скоростью течения W и давлением p . Рабочие соосные иглы размещались поперечно относительно нагреваемой металлической трубки по центру ее длины.

Перед каждым экспериментом настраивали экспериментальную установку и рабочие участки, где устанавливалось расстояние между остриями рабочих соосных игл: в первой серии экспериментов $h_1 = 6$ мм, во второй — $h_2 = 8$ мм, в третьей — $h_3 = 10$ мм. После включения экспериментальной установки назначали, измеряли и фиксировали в рабочем журнале параметры плотности теплового потока, температуры нагреваемой металлической трубки и масла, скорости прокачки моторного масла, давления, после чего проводили включение электростатических полей, т. е. на отдающую иглу в течение 10 мин подавалось высоковольтное электростатическое напряжение $U = 5$ кВ и снимались показания рабочего параметра — температуры стенки нагреваемой металлической трубки. Далее после замены моторного масла эксперимент повторялся, но уже при напряжении $U = 10$ кВ. Затем, с учетом замены моторного масла, эксперимент продолжался при напряжении U , равном 15 кВ, 20 кВ, 25 кВ, 30 кВ. Дальнейшие такие же эксперименты при $h_1 = 6$ мм проводили с другими фиксированными значениями: плотности теплового потока, давления, скорости прокачки моторного масла.

Вторую и третью серии экспериментов проводили в той же последовательности, что и первую.

Результаты экспериментальных исследований. На базе первичной обработки результатов исследования были составлены таблицы и построены графики зависимости температуры стенки рабочей трубки $T_{ст}$ от плотности теплового потока q без учета и с учетом влияния электростатических полей E при фиксированных значениях рабочих параметров h, p, W . Для примера показаны результаты исследования первой серии экспериментов при $h = 6$ мм. Так, на рис. 1 и 2 приведены значения температуры стенки рабочей трубки $T_{ст}$ в зависимости от изменения плотности теплового потока q без учета и с учетом влияния электростатических полей E . По данным графиков видно, что увеличение q приводит к общему повышению $T_{ст}$, а увеличение значений подаваемого электростатического напряжения U — к снижению температуры $T_{ст}$ практически во всем диапазоне скоростей прокачки моторного масла.

В ходе проведения экспериментов была обнаружена зона насыщения электростатическими полями E , в которой дальнейшее повышение подаваемого высоковольтного электростатического напряжения U не приводит к дальнейшему понижению температуры стенки рабочей трубки $T_{ст}$. Эта зона находится ниже линии 4, являющейся границей начала зоны насыщения E (рис. 1, $a-z$).

Все последующие графики были получены в ходе вторичной обработки результатов исследования. Так, на рис. 2 представлено изменение коэффициента теплоотдачи α_E к моторному авиационному маслу марки МС-20 при увеличении плотности теплового потока без учета и с учетом влияния E в диапазоне рабочих параметров по скорости прокачки масла. Согласно графикам, увеличение плотности теплового потока q приводит к общему повышению коэффициента теплоотдачи α_E (см. рис. 2, линии 1–4), а подаваемое электростатическое напряжение U — к дальнейшему росту коэффициента теплоотдачи α_E (см. рис. 2, линии 2–4).

В ходе вторичной обработки экспериментальных данных коэффициент теплоотдачи α_E рассчитывали по формуле Ньютона — Рихмана

$$\alpha_E = \frac{q}{(T_{ст} - T_{ж})}, \quad (1)$$

где α_E — коэффициент теплоотдачи при воздействии электростатических полей, Вт/(м²·К); $T_{ст}$ — температура стенки нагреваемой трубки, К; $T_{ж}$ — температура рабочей жидкости, К.

Линия 4 на графиках (см. рис. 2) является границей начала зоны насыщения E , в которой дальнейшее повышение подаваемого электростатического напряжения U не приводит к дальнейшему увеличению коэффициента теплоотдачи α_E .

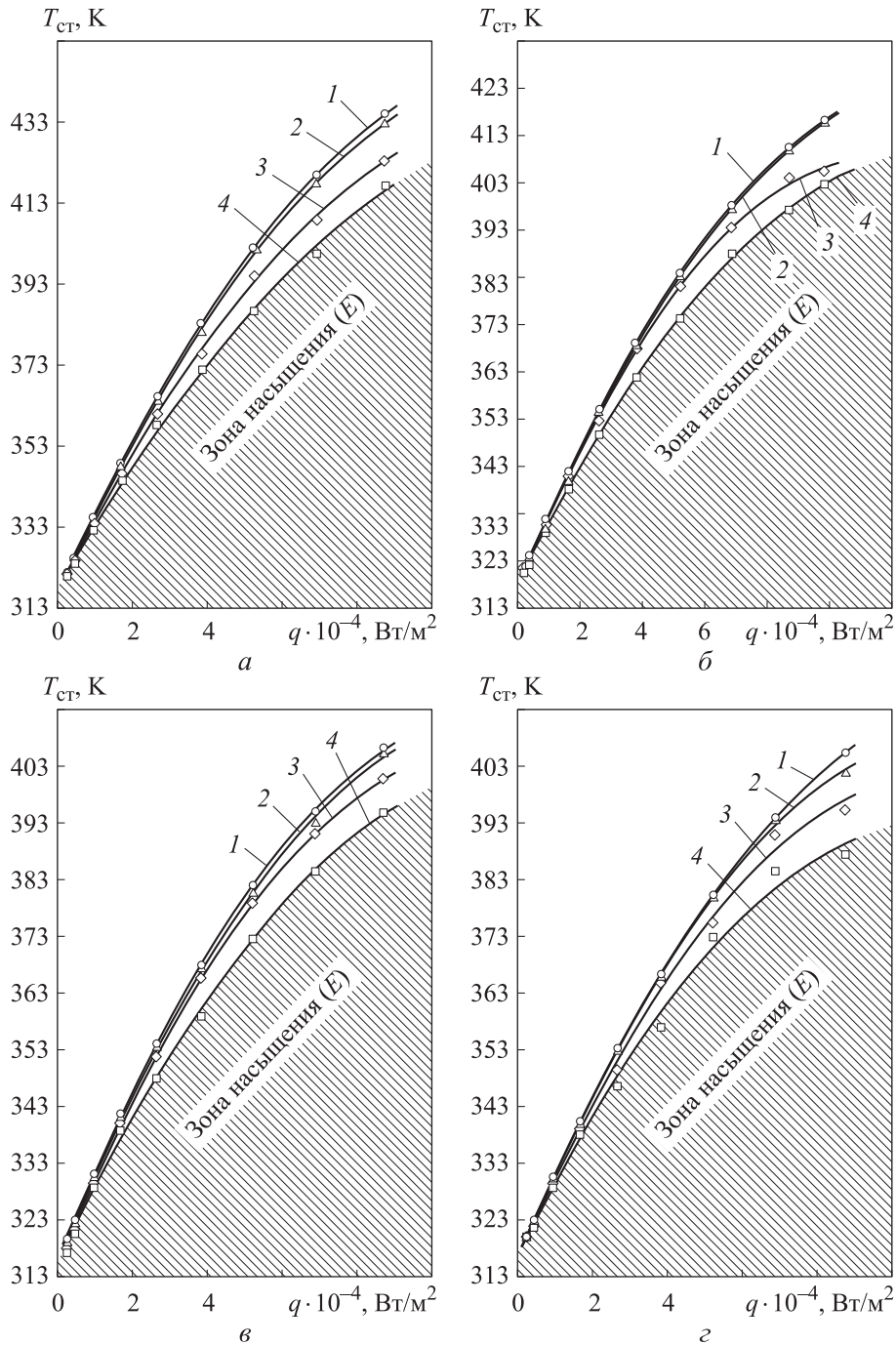


Рис. 1. Изменение температуры стенки рабочей трубки $T_{ст}$ в зависимости от изменения плотности теплового потока q и электростатического напряжения U при расстоянии между иглами $h = 6$ мм и скорости прокачки масла марки МС-20 W , равной 1 м/с (а), 2 м/с (б), 3 м/с (в), 4 м/с (г):

1 — $U_0 = 0$; 2 — $U_1 = 5$ кВ; 3 — $U_2 = 10$ кВ; 4 — $U_3 = 15$ кВ

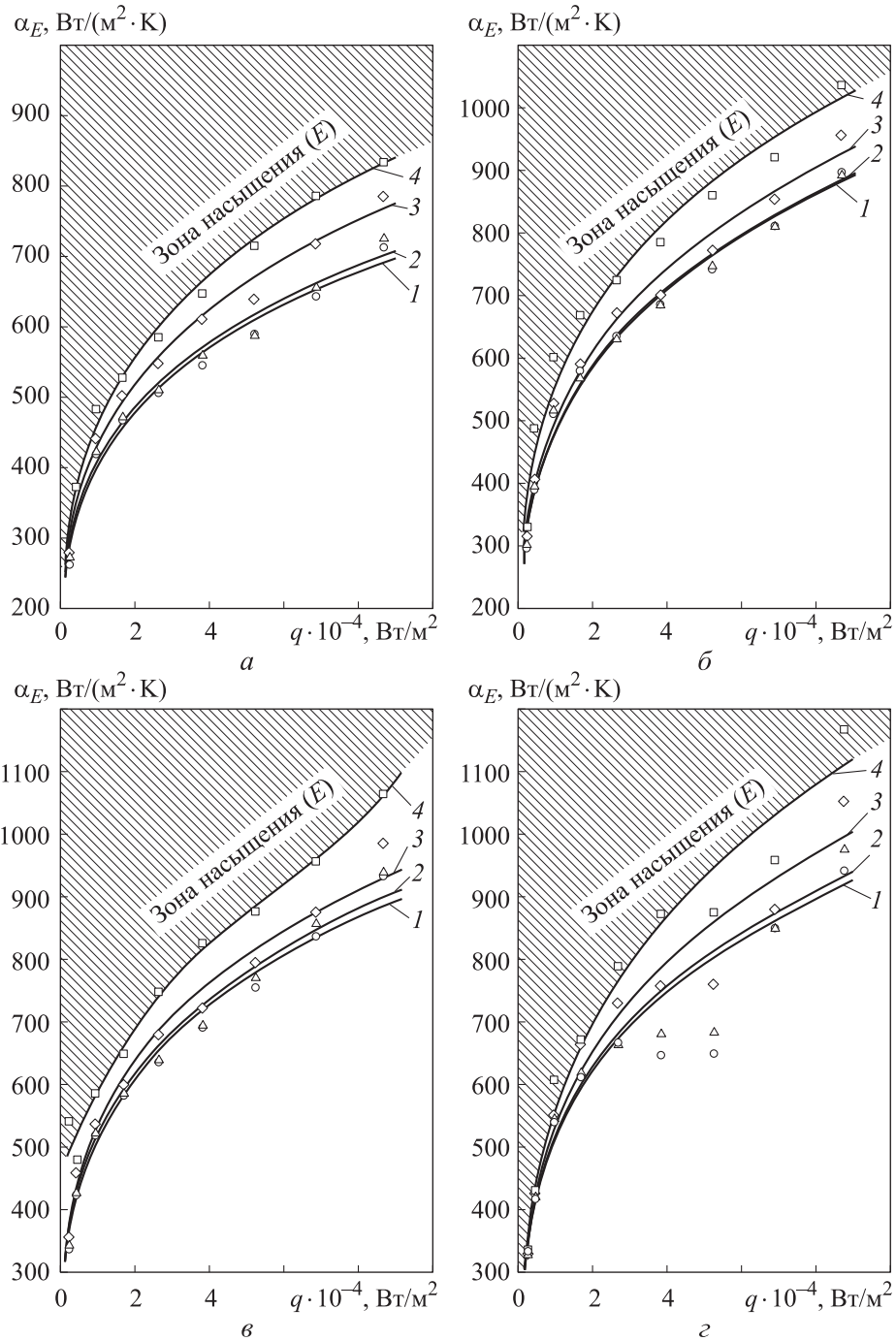


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи α_E в зависимости от изменения плотности теплового потока q и электростатического напряжения U при расстоянии между иглами $h = 6$ мм и скорости прокатки масла марки МС-20 W , равной 1 м/с (а), 2 м/с (б), 3 м/с (в), 4 м/с (г):

1 — $U_0 = 0$; 2 — $U_1 = 5$ кВ; 3 — $U_2 = 10$ кВ; 4 — $U_3 = 15$ кВ

Заключение. В данной статье представлены результаты впервые выполненных экспериментальных исследований по влиянию электростатических полей E на теплоотдачу к моторному авиационному маслу марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции в кольцевом нагреваемом канале при различных термодинамических условиях. Получены новые результаты влияния рабочих параметров на понижение температуры стенки металлической нагреваемой рабочей трубки, расположенной в рабочем участке с электростатическими полями. Экспериментально установлено, что возможно увеличение до 15...30 % коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 при его вынужденной конвекции в кольцевом нагреваемом канале с поперечными электростатическими полями E при различных термодинамических условиях. В ходе первичной и вторичной обработок создана всесторонняя экспериментальная база данных в виде таблиц и графиков, которые позволят без проведения сложных и дорогих экспериментов быстро определять и находить значения коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20.

В части 2 статьи будет показано влияние скорости прокачки масла и числа Рейнольдса, давления, расстояния между соосными рабочими иглами, значения подаваемого электростатического напряжения на коэффициент теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20, на относительный коэффициент теплоотдачи и на число Нуссельта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бабкин В.И., Алексахин А.А., Яновский Л.С., Дунаев С.В., Хурумова А.Ф. Отечественные смазочные масла для авиационных газотурбинных двигателей: проблемы и перспективы. *Двигатель*, 2012, № 5 (83), с. 8–11.
- [2] Яновский Л.С., Харин А.А., Бабкин В.И. *Основы химмотологии*. Москва–Берлин, Директ-Медиа, 2016, 482 с.
- [3] Трянов А.Е. *Конструкция масляных систем авиационных двигателей*. Самара, Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007, 81 с.
- [4] Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Обухова Л.А., Тарасевич С.Э., Яновская М.Л. Анализ исследований электрических полей в различных средах и условиях. *Инженерно-физический журнал*, 2012, т. 85, № 4, с. 881–896.
- [5] Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov Yu.F., Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L. Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.
- [6] Алтунин В.А., Алтунин К.В., Адиятуллин И.Р., Ермолаев А.В., Маханько Д.В., Щиголов А.А., Обухова Л.А., Платонов Е.Н., Демиденко В.П., Монда В.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л. Исследование и применение электростатических полей в различных средах в земных и космических условиях. *Труды VIII школы-семинара молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова «Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении»*, Казань, Изд-во КГЭУ, 2012, с. 193–200.

- [7] Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголов А.А., Платонов Е.Н. Разработка способов увеличения ресурса и надежности систем смазки двигателей внутреннего сгорания наземного транспорта. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2015, № 10 (667), с. 48–58.
- [8] Алтунин В.А., Юсупов А.А., Щиголов А.А., Яновская М.Л. Анализ проблем систем смазки поршневых и реактивных двигателей летательных аппаратов. *Материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики» (АНТЭ-2015)*. Казань, Изд-во Бриг, 2015, с. 574–579.
- [9] Алтунин В.А., Алтунин К.В., Щиголов А.А., Юсупов А.А., Коханова Ю.С., Яновская М.Л. Разработка новых конструктивных схем систем смазки двигателей для гиперзвуковых и аэрокосмических летательных аппаратов. *Сб. тезисов докладов 41-х Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, с. 378–379.
- [10] Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголов А.А., Юсупов А.А. Исследование возможности применения магнитных и электростатических полей для борьбы с осадкообразованием в авиационных моторных маслах двигателей, энергоустановок и техносистем наземного, воздушного и аэрокосмического базирования. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2017, № 3 (684), с. 76–88.
- [11] Алтунин В.А., Демиденко В.П., Щиголов А.А., Юсупов А.А., Шигапов Р.Р., Яновская М.Л. Пути повышения ресурса и надежности систем смазки авиационных и аэрокосмических двигателей и энергоустановок. *Труды 51-х чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (г. Калуга, 20–22 сентября 2016 г.)*. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2017, с. 142–152.
- [12] Львов М.В., Юсупов А.А., Каськов А.С., Щиголов А.А. Анализ результатов исследования влияния магнитных и электростатических полей на тепловые процессы в авиационных моторных маслах в условиях естественной конвекции. *ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ*, 2018, № 45, с. 23.
- [13] Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголов А.А., Яновская М.Л. Анализ эффективности применения электростатических полей в существующих и перспективных системах смазки двигателей летательных аппаратов воздушного и аэрокосмического базирования. *Труды 54-х чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (Калуга, 17–18 сентября 2019 г.)*. Казань, Изд-во Казанского ун-та, 2020, с. 77–82.
- [14] Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголов А.А., Каськов А.С. Разработка новых конструктивных схем систем смазки двигателей летательных аппаратов воздушного и аэрокосмического применения. *ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ*, 2020, № 62, с. 312–313.
- [15] Алтунин В.А., Алтунин К.В., Львов М.В., Щиголов А.А., Алиев И.Н., Яновская М.Л. Проблемы систем смазки авиационных двигателей. *Тепловые процессы в технике*, 2021, т. 13, № 8, с. 357–384.
- [16] Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголов А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Экспериментальное исследование тепловых процессов при вынужденной конвекции авиационных моторных масел. *Материалы докладов 57-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского*. Калуга, Эйдос, 2022, с. 233–236.

- [17] Алтунин В.А., Львов М.В., Каськов А.С., Щиголев А.А., Яновская М.Л. Проблемы осадкообразования в системах смазки двигателей летательных аппаратов. *Современные проблемы ракетной и космической техники: сб. научных статей (полных докладов) 56-х Научных чтений памяти К.Э. Циолковского по секции № 2: «Проблемы ракетной и космической техники» (Калуга, 21–22 сентября 2021 г.)*. Казань, РИЦ «Школа», 2022, с. 99–113.
- [18] Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Яновская М.Л. Расчет плотности моторного авиационного масла марки МС-20 при различных температурах и давлениях. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, вып. 2. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-2-2252>
- [19] Львов М.В., Алтунин В.А., Юсупов А.А., Пукачѳв И.Р., Яновская М.Л. Результаты экспериментальных исследований тепловых процессов в моторных авиационных маслах двигателей летательных аппаратов. *Сб. тезисов докладов 47-х Академических чтений по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королѳва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, т. 1, с. 370–372.
- [20] Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Яновская М.Л. Экспериментальная установка для исследования влияния электростатических полей на теплообмен и процесс осадкообразования в моторном авиационном масле при его вынужденной конвекции. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 7, с. 113–123, DOI: 10.18698/0536-1044-2023-7-113-123
- [21] Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Пукачѳв И.Р., Яновская М.Л. Результаты экспериментальных исследований тепловых процессов в условиях вынужденной конвекции моторного авиационного масла марки МС-20. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, вып. 6. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-6-2285>
- [22] Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Анализ методик расчета теплоотдачи к моторному авиационному маслу марки МС-20 в условиях вынужденной конвекции в кольцевом канале с учетом их верификации с экспериментом. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, вып. 7. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-7-2293>
- [23] Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Экспериментальное исследование тепловых процессов при вынужденной конвекции авиационных моторных масел. *«Современные проблемы ракетной и космической техники»: материалы полных докладов на секции № 2: «Проблемы ракетной и космической техники» 57-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (21 сентября 2022 г., г. Калуга, ГМИК)*. Казань, Изд-во «Школа», 2023, с. 204–218.
- [24] Алтунин В.А., Львов М.В., Щиголев А.А., Юсупов А.А., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Анализ методик расчета коэффициента теплоотдачи к моторному авиационному маслу в сложных термодинамических условиях авиационных и аэрокосмических двигателей. *Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (Калуга, 19–20 сентября 2023 г., ГМИК им. К.Э. Циолковского)*. Калуга, Изд-во «Наша полиграфия», ч. 1, с. 206–208.
- [25] Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголев А.А., Яновская М.Л. Результаты экспериментального исследования тепловых процессов в системах смазки двигателей летательных аппаратов. *Сб. тезисов докладов Междунар.*

науч.-техн. конф. «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации (18–19 мая 2023 г., Москва, МГТУ ГА). Москва, ИД Академии имени Н.Е. Жуковского, 2023, с. 51–52.

Статья поступила в редакцию 23.10.2023

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Алтунин В.А., Львов М.В., Юсупов А.А., Щиголов А.А., Гортышов Ю.Ф., Кореев Е.П., Яновская М.Л. Результаты экспериментального исследования влияния электростатических полей на тепловые процессы в моторном авиационном масле марки МС-20 в условиях его вынужденной конвекции. Часть 1. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, вып. 11.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2023-11-2317>

Алтунин Виталий Алексеевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплотехники и энергетического машиностроения», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ; академик Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского (РАКЦ), президент Казанского регионального отделения РАКЦ (КазРО РАКЦ), Заслуженный изобретатель Республики Татарстан. e-mail: altspacevi@yahoo.com

Львов Михаил Валерьевич — аспирант кафедры «Теплотехники и энергетического машиностроения», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ.

Юсупов Артур Альбертович — аспирант кафедры «Теплотехники и энергетического машиностроения», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ.

Щиголов Александр Александрович — докторант кафедры «Теплотехники и энергетического машиностроения», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ.

Гортышов Юрий Фёдорович — д-р техн. наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Теплотехники и энергетического машиностроения», президент Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева — КАИ; Заслуженный деятель науки РФ, Заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан, академик Академии наук Республики Татарстан, академик Российской академии естественных наук, академик Международной инженерной академии, академик Академии авиации и воздухоплавания им. Н.Е. Жуковского, академик Академии военных наук, Почётный член Российской академии космонавтики К.Э. Циолковского, лауреат Премии Правительства РФ в области образования, лауреат Государственной научной стипендии выдающимся ученым России, Заслуженный профессор КНИТУ — КАИ им. А.Н. Туполева.

Кореев Егор Павлович — магистрант кафедры «Теплотехники и энергетического машиностроения», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева — КАИ

Яновская Мария Леонидовна — канд. техн. наук, младший научный сотрудник Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова.

Results of an experimental study of the electrostatic fields' influence on thermal processes in the MS-20 aviation engine oil exposed to its forced convection. Part 1

© V.A. Altunin¹, M.V. Lvov¹, A.A. Yusupov¹, A.A. Shchigolev¹,
Yu.F. Gortyshov¹, E.P. Koreev¹, M.L. Yanovskaya²

¹Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev
(KNRTU—KAI), Kazan, 420111, Russia

²Baranov Central Institute of Aviation Motor Development, Moscow, 111116, Russia

The transverse electrostatic fields influence on thermal processes in the MS-20 aviation engine exposed to its forced convection in the annular channel was experimentally studied at the different conditions. Those conditions included various heat flux densities in the working heated tube, different pressures and oil pumping rates, different distances between the working coaxial needles and the supplied high-voltage electrostatic voltages. An experimental database was created on the wall temperature of the working heated tube and the heat transfer coefficient to the aviation engine oil at various operating parameters without and with the transverse electrostatic fields influence. A zone of the electrostatic fields saturation was discovered, where further increase in the electrostatic voltage supplied to the output needle was not leading to a decrease in the working tube wall temperature and to an increase in the heat transfer coefficient to the engine oil, which values remained constant. Part 1 of the article shows results of the transverse electrostatic fields influence on reducing the working tube metal wall temperature in the annular channel and on alteration in the heat transfer coefficient to the MS-20 aviation engine oil depending on the heat flux density and the applied electrostatic voltage magnitude at the different pumping rates and pressures. The research results introduction would contribute to creation of the new oil systems with improved performance for aircraft engines, power plants and technical systems for various purposes and applications.

Keywords: aviation engine oil, forced convection, thermal processes, annular channel, heated metal tube, temperature, pressure, pumping rate, heat flux density, electrostatic fields, coaxial working needles.

REFERENCES

- [1] Babkin V.I., Aleksashin A.A., Yanovsky L.S., Dunaev S.V., Khurumova A.F. Otechestvennye smazochnye masla dlya aviatsionnykh gazoturbinnnykh dvigateley: problemy i perspektivy [Domestic lubricants for aviation gas turbine engines: problems and prospects]. *Dvigatel — Engine*, 2012, no. 5 (83), pp. 8–11.
- [2] Yanovsky L.S., Kharin A.A., Babkin V.I. *Osnovy khimnologii* [Fundamentals of chemotology]. Moscow–Berlin, Direkt-Media Publ., 2016, 482 p.
- [3] Tryanov A.E. *Konstruktsiya maslyanykh sistem aviatsionnykh dvigateley* [Design of oil systems of the aircraft engines]. Samara, Samara State Aerospace University Publ., 2007, 81 p.
- [4] Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov Yu.F., Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L. Analiz issledovaniy elektricheskikh poley v razlichnykh sredakh i usloviyakh [Analysis of studies of the electric fields in various media and conditions]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 881–896.

- [5] Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Gortyshov, Dresvyannikov F.N., Obukhova L.A., Tarasevich S.E., Yanovskaya M.L. Analysis of investigations of electric fields in different media and conditions. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2012, vol. 85, no. 4, pp. 959–976.
- [6] Altunin V.A., Altunin K.V., Adiyatullin I.R., Ermolaev A.V., Makhanko D.V., Shchigolev A.A., Obukhova L.A., Platonov E.N., Demidenko V.P., Monda V.A., Aliev I.N., Yanovskaya M.L. Issledovanie i primenenie elektrostatičeskikh poley v razlichnykh sredakh v zemnykh i kosmicheskikh usloviyakh [Research and application of the electrostatic fields in various environments in terrestrial and space conditions]. In: *Trudy VIII shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov akademika RAN V.E. Alemasova "Problemy teplomassobmena i gidrodinamiki v energomashinostroyenii"*. [Proceeding of the VIII school-seminar of young scientists and specialists of RAS Academician V.E. Alemasov "Problems of heat-mass transfer and hydrodynamics in the power engineering"]. Kazan, KGEU Publ., 2012, pp. 193–200.
- [7] Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Shchigolev A.A., Platonov E.N. Razrabotka sposobov uvelicheniya resursa i nadezhnosti sistem smazki dvigateley vnutrennego sgoraniya nazemnogo transporta [Methods of life-extension and increase of reliability of lubrication systems in internal combustion engines used in ground transportation]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2015, no. 10 (667), pp. 48–58.
- [8] Altunin V.A., Yusupov A.A., Shchigolev A.A., Yanovskaya M.L. Analiz problem sistem smazki porshnevnykh i reaktivnykh dvigateley letatelnykh apparatov [Analysis of problems of lubrication systems for the aircraft piston and jet engines]. In: *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf. "Problemy i perspektivy razvitiya aviatsii, nazemnogo transporta i energetika" (ANTE-2015)*. [Materials of the VIII International scientific and technical conference "Problems and prospects for the development of aviation, ground transport and energy" (ANTE-2015)]. Kazan, Brig Publ., 2015, pp. 574–579.
- [9] Altunin V.A., Altunin K.V., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Kokhanova Yu.S., Yanovskaya M.L. Razrabotka novykh konstruktivnykh skhem sistem smazki Dvigatelay dlya giperzvukovykh i aerokosmicheskikh letatelnykh apparatov [Development of new design schemes for engine lubrication systems for hypersonic and aerospace flying vehicles]. In: *Sb. tezisov dokladov 41-kh Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike, posvyaschennykh pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayuschikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva*. [Collection of abstracts of the reports at the 41st Academic readings on cosmonautics dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding domestic scientists — pioneers of space exploration]. Moscow, BMSTU Publ., 2017, pp. 378–379.
- [10] Altunin V.A., Altunin K.V., Aliev I.N., Shchigolev A.A., Yusupov A.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya magnitnykh i elektrostatičeskikh poley dlya borby s osadkoobrazovaniem v aviatsionnykh motornykh maslakh dvigateley, energoustanovok i tekhnosistem nazemnogo, vozdushnogo i aerokosmicheskogo bazirovaniya [Researching the possible use of magnetic and electrostatic fields to address the problem of deposit formation in aviation oil for engines, power plants and technical systems of aircraft for aerial and aerospace use]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye — Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2017, no. 3 (684), pp. 76–88.
- [11] Altunin V.A., Demidenko V.P., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Shigapov R.R., Yanovskaya M.L. Puti povysheniya resursa i nadezhnosti sistem smazki aviatsionnykh i kosmicheskikh dvigateley i energoustanovok [Ways to increase

- service life and reliability of lubrication systems for aviation and aerospace engines and power plants. In: *Trudy 51-kh chteniy, posvyashchennykh razrabotke nauchnogo naslediya i razvitiyu idey K.E. Tsiolkovskogo (Kaluga, 20–22 sentyabrya 2016 g.)*. [Proceedings of the 51st readings dedicated to development of scientific heritage and ideas of K.E. Tsiolkovsky. (Kaluga, September 20–22, 2016)]. Kazan, Kazan University Publ., 2017, pp. 142–152.
- [12] Lvov M.V., Yusupov A.A., Kaskov A.S., Shchigolev A.A. Analiz rezultatov issledovaniya vliyaniya magnitnykh i elektrosticheskikh poley na teplovy protsessy v aviatsionnykh motornykh maslakh v usloviyakh estestvennoy konveksii [Analysis of the results of a study of the influence of magnetic and electrostatic fields on thermal processes in the aviation engine oils under conditions of natural convection]. *VOENMEKH. Vestnik BGTU — Journal “VOENMEKH. Bulletin of BSTU”*, 2018, no. 45, p. 23.
- [13] Altunin V.A., Lvov M.V., Kaskov A.S., Shchigolev A.A., Yanovskaya M.L. Analiz effektivnosti primeneniya elektrosticheskikh poley v sushchestvuyushchikh i perspektivnykh sistemakh smazki dvigateley letatelnykh apparatov vozdušnogo i aerokosmicheskogo bazirovaniya [Analysis of the effectiveness of the use of electrostatic fields in existing and future lubrication systems for engines of airborne and aerospace-based flying vehicles]. In: *Trudy 54-kh chteniy, posvyashchennykh razrabotke nauchnogo naslediya i razvitiyu idey K.E. Tsiolkovskogo (Kaluga, 17–18 sentyabrya 2019 g.)*. [Proceedings of the 54th Readings dedicated to development of scientific heritage and ideas of K.E. Tsiolkovsky (Kaluga, September 17–18, 2019)]. Kazan, Kazan University Publ., 2020, pp. 77–82.
- [14] Altunin V.A., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Kaskov A.S. Razrabotka novykh konstruktivnykh skhem sistem smazki dvigateley letatelnykh apparatov vozdušnogo i aerokosmicheskogo primeneniya [Development of new design schemes for lubrication systems for aircraft engines for air and aerospace applications]. *VOENMEKH. Vestnik BGTU — Journal “VOENMEKH. Bulletin of BSTU”*, 2020, no. 62, pp. 312–313.
- [15] Altunin V.A., Altunin K.V., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Aliyev I.N., Yanovskaya M.L. Problemy sistem smazki aviatsionnykh dvigateley [Problems of lubrication systems of the aviation engines]. *Teplovy protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2021, vol. 13, no. 8, pp. 357–384.
- [16] Altunin V.A., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Koreev E.P., Yanovskaya M.L. Eksperimentalnoe issledovanie teplovykh protsessov pri vyzhdennoy konveksii aviatsionnykh motornykh masel [Experimental study of thermal processes during forced convection of the aviation motor oils]. In: *Materialy dokladov 57-kh Nauchnykh chteniy, posvyashchennykh razrabotke nauchnogo naslediya i razvitiyu idey K.E. Tsiolkovskogo*. [Materials of reports of the 57th scientific readings dedicated to development of scientific heritage and ideas of K.E. Tsiolkovsky]. Kaluga, Eidos Publ., 2022, pp. 233–236.
- [17] Altunin V.A., Lvov M.V., Kaskov A.S., Shchigolev A.A., Yanovskaya M.L. Problemy osadkoobrazovaniya v sistemakh smazki dvigateley letatelnykh apparatov [Recording problems in aircraft engines lubricating systems]. In: *Sovremennye problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki: sb. nauchnykh statey (polnykh dokladov) 56-kh nauchnykh chteniy pamyati K.E. Tsiolkovskogo po seksii № 2: “Problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki” (Kaluga, 21–22 sentyabrya 2021 g.)*. [Modern problems of missile and space technology: collection of scientific articles (full reports) of the 56th scientific readings devoted to the memory of K.E. Tsiolkovsky, Section no. 2 “Problems of rocket and space systems (Kaluga, September 21–22, 2021)]. Kazan, Shkola Publ., 2022, pp. 99–113.

- [18] Altunin V.A., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Yanovskaya M.L. Raschet plotnosti motornogo aviatsionnogo masla Marki MS-20 pri razlichnykh temperaturakh i davleniyakh [Calculation of the density of motor aviation MS-20 brand oils at various temperature and pressure]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2023, iss. 2. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-2-2252>
- [19] Lvov M.V., Altunin V.A., Yusupov A.A., Pukachev I.R., Yanovskaya M.L. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy teplovykh protsessov v motornykh aviatsionnykh maslakh dvigateley letatelnykh apparatov [Results of experimental studies of thermal processes in aviation motor oils of the flying vehicles engines]. In: *Sb. tezisev dokladov 47-kh Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike, posvyashch. pamyati akad. S.P. Koroleva i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva*. [Collection of of the reports' abstracts at the 47th Academic readings on cosmonautics, dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding domestic scientists — pioneers of space exploration]. Moscow, BMSTU Publ., 2023, vol. 1, pp. 370–372.
- [20] Altunin V.A., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Yanovskaya M.L. Eksperimentalnaya ustanovka dlya issledovaniya vliyaniya elektrosticheskikh poley na teploobmen i protsess osadkoobrazovaniya v motornom aviatsionnom masle pri ego vyzhdennoy konveksii [Experimental installation for the study of the influence of electrostatic fields on heat exchange and the process of sedimentation in motor aviation oil with its forced convection]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye — BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 7, pp. 113–123, <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-7-113-123>
- [21] Altunin V.A., Lvov M.V., Yusupov A.A., Shchigolev A.A., Pukachev I.R., Yanovskaya M.L. Rezultaty eksperimentalnykh issledovaniy teplovykh protsessov v usloviyakh vyzhdennoy konveksii motornogo aviatsionnogo masla marki MS-20 [Results of experimental study of the thermal processes at forced convection of the MS-20 engine aviation oil]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2023, iss. 6. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-6-2285>
- [22] Altunin V.A., Lvov M.V., Yusupov A.A., Shchigolev A.A., Koreev E.P., Yanovskaya M.L. Analiz metodiki rascheta teplootdachi k motornomu aviatsionnomu maslu marki MS-20 v usloviyakh vyzhdennoy konveksii v koltsevom kanale s uchetoem ikh verifikatsii s eksperimentom [Analysis of the methods for calculating heat transfer in regard to the MS-20 brand motor aviation oil under conditions of forced convection in the ring channel given their verification with the experiment]. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2023, iss. 7. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-7-2293>
- [23] Altunin V.A., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Koreev E.P., Yanovskaya M.L. Eksperimentalnoe issledovanie teplovykh protsessov pri vyzhdennoy konveksii aviatsionnykh motornykh masel [Experimental study of thermal processes during forced convection of the aviation motor oils]. In: *Sovremennye problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki: sb. polnykh dokladov na septsii № 2 “Problemy raketnoy i kosmicheskoy tekhniki” 57kh nauchnykh chteniy, posvyashchennykh razrabotke nauchnogo naslediya i razvitiyu idey K.E. Tsiolkovskogo (21 sentyabrya 2022 g., Kaluga, GMIK)*. [Modern problems in rocket and space technology: collection of full length reports at Section no. 2 “Problems of the rocket and space technology” of the 57th scientific readings dedicated to development of scientific heritage and ideas of K.E. Tsiolkovsky (September 21, 2022, Kaluga, GMIC)]. Kazan, Shkola Publ., 2023, pp. 204–218.

- [24] Altunin V.A., Lvov M.V., Shchigolev A.A., Yusupov A.A., Koreev E.P., Yanovskaya M.L. Analiz metodik rascheta koeffitsienta teplootdachi k motornomu aviatsionnomu maslu v slozhnykh termodinamicheskikh usloviyakh aviatsionnykh i aerokosmicheskikh dvigateley [Analysis of methods for calculating coefficient of the heat transfer to aviation engine oil under complex thermodynamic conditions of the aviation and aerospace engines]. In: *Materialy 58-kh nauchnykh chteniy, posvyaschennykh razrabotke nauchnogo naslediya i razvitiyu idey K.E. Tsiolkovskogo (Kaluga, 19–20 sentyabrya 2023 g.)*. [Materials of the 58th scientific readings dedicated to development of the scientific heritage and ideas of K.E. Tsiolkovsky (Kaluga, September 19–20, 2023)]. Kaluga, Nasha Poligrafiya Publ., part 1, pp. 206–208.
- [25] Altunin V.A., Lvov M.V., Yusupov A.A., Shchigolev A.A., Yanovskaya M.L. Rezultaty eksperimentalnogo issledovaniya teplovykh protsessov v sistemakh smazki dvigateley letatelnykh apparatov [Results of an experimental study of the thermal processes in lubrication systems of the flying vehicles engines]. In: *Sb. tezisev dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhn. konf. "Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom etape razvitiya nauki, tekhniki i obshchestva, posvyaschennoy 100-letiyu otechestvennoy grazhdznskoj aviatsii (18–19 maya 2023 g., MG TU GA)*. [Collection of the reports' abstracts at the International scientific and technical conference "Civil aviation at the current stage of science, technology and society development" dedicated to the 100th anniversary of the domestic civil aviation (May 18–19, 2023, MSTU CA)]. Moscow, Academy named after N.E. Zhukovsky Publ., 2023, pp. 51–52.

Altunin V.A., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Heat Engineering and Power Engineering, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI; Academician, Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky (RACTs); President, Kazan Regional Branch of the RACTs (KazRB RACTs); Honored Inventor of the Republic of Tatarstan. e-mail: altspacevi@yahoo.com

Lvov M.V., Postgraduate, Department of Heat Engineering and Power Engineering, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI.

Yusupov A.A., Postgraduate, Department of Heat Engineering and Power Engineering, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI.

Shchigolev A.A., Doctoral Student, Department of Heat Engineering and Power Engineering, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI.

Gortyshov Yu.F., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Acting Head of the Department of Heat Engineering and Power Engineering, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI; President, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI; Honored Worker of Science of the Russian Federation; Honored Worker of Science and Technology of the Republic of Tatarstan; Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; Academician of the Russian Academy of Natural Sciences; Academician of the International Academy of Engineering; Academician of the Academy of Aviation and Aeronautics named after N.E. Zhukovsky; Academician of the Academy of Military Sciences; Honorary Member of the Russian Academy of Cosmonautics of K.E. Tsiolkovsky; Laureate of the Russian Government Prize in the Education area; Laureate of the State Scientific Scholarship for the Outstanding Scientists of Russia, Honored Professor of the KNRTU—KAI.

V.A. Altunin, M.V. Lvov, A.A. Yusupov, A.A. Shchigolev, Yu.F. Gortyshov, E.P. Koreev...

Koreev E.P., Master's Program Student, Department of Heat Engineering and Power Engineering, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI.

Yanovskaya M.L., Cand. Sc. (Eng.), Junior Researcher, Baranov Central Institute of Aviation Motors.