

УДК 629.735.015.681.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСАДКИ САМОЛЕТА ИЛ-76ТД-90ВД В АНТАРКТИДЕ

М.С. КУБЛАНОВ¹, К.О. ЧЕРНИГИН¹

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Россия

На основании информации из интернета авторы приняли решение воспроизвести в вычислительном эксперименте с помощью Системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов (СММ ДП ЛА), разработанной и постоянно совершенствуемой в МГТУ ГА, возможные условия посадки самолета Ил-76ТД-90ВД в Антарктиде. СММ ДП ЛА ранее проявила свои возможности по решению подобных задач для различных типов самолетов в различных условиях, в том числе Ил-76ТД, Ил-96-300, Ил-96Т, в том числе на скользких взлетно-посадочных полосах.

Для постановки вычислительных экспериментов использовалась информация из источников в интернете. Авторы не ставили целью получение окончательных численных результатов, описывающих возможные условия эксплуатации. Предполагалось лишь получить достоверные качественные результаты, адекватно описывающие поведение самолета Ил-76ТД-90ВД при посадке на скользкую взлетно-посадочную полосу.

Так, удалось получить характерный разворот самолета в конце пробеге и показать, что манера управления пилота в этих условиях мало влияет на качественный характер поведения самолета. Самый существенный фактор, приводящий к такому маневру, это особенность связи продольного и поперечного сцепления колес шасси с ВПП.

Удалось идентифицировать минимально допустимое значение нормативного коэффициента сцепления взлетно-посадочной полосы (0,42), при котором возможна безопасная посадка в условиях бокового ветра 15 м/с.

Полученные результаты, качественно совпадающие с известными ситуациями, свидетельствуют о возможности СММ ДП ЛА корректно воспроизвести разнообразные случаи посадки самолета Ил-76ТД-90ВД на ледовые аэродромы Антарктиды и идентифицировать отдельные неточно известные параметры.

Ключевые слова: система математического моделирования динамики полета летательных аппаратов, посадка, Ил-76ТД-90ВД, скользкая взлетно-посадочная полоса.

ВВЕДЕНИЕ

Появление информации в сети интернет [1, 2] побудило авторов к попытке воспроизвести возможные условия посадки самолета Ил-76ТД-90ВД на аэродроме Новолазаревская в Антарктиде. Основанием для уверенности в успехе такого вычислительного эксперимента явился многолетний опыт эксплуатации Системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов (СММ ДП ЛА), разработанной и постоянно совершенствуемой в МГТУ ГА² [1–8]. Особо следует подчеркнуть успех в исследовании аварии самолета Ил-76ТД [9] и эксплуатационных возможностей этого самолета [10, 11]. В работах [12, 13] подобные задачи решались

² Анализ точности имитации движения самолета в особых случаях взлета и посадки с помощью математического моделирования: отчет о НИР (промежуточный) / Моск. ин-т инженеров гражд. авиации (МИИГА); руководитель Ципенко В.Г.; ответственный исполнитель М.С. Кубланов. № ГР 01890017440. Инв. № 02890065188. М., 1989. 111 с.

Система математического моделирования динамики полета воздушных судов на базе персональных ЭВМ: отчет о НИР (промежуточный) / Моск. ин-т инженеров гражд. авиации (МИИГА); руководитель Ципенко В.Г.; ответственный исполнитель М.С. Кубланов. № ГР 01910018045. Инв. № 02910024435. М., 1991. 34 с.

Разработка предложений и рекомендаций по летной эксплуатации ВС при взлете и посадке в условиях высокогорья и высоких температур окружающего воздуха: отчет о НИР (заключительный) / Моск. гос. техн. ун-т гражд. авиации (МГТУ ГА); руководитель Ципенко В.Г.; ответственный исполнитель М.С. Кубланов. № ГР 01200106072. М., 2002. 23 с.

Исследование условий движения самолетов Ил-86 и Ил-96 на ВПП с различными характеристиками торможения с целью расширения границ их безопасной эксплуатации и подготовка соответствующих рекомендаций по изменению эксплуатационной документации: отчет о НИР (заключительный) / Моск. гос. техн. ун-т гражд. авиации (МГТУ ГА); руководитель Ципенко В.Г.; ответственный исполнитель М.С. Кубланов. № ГР 01200116299. Инв. № 02200108478. М., 2001. 154 с.

и для другого самолета в других условиях эксплуатации, а в [14] собран и обобщен весь этот опыт.

МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения любых расчетов необходимы исходные данные. Естественно, что такие данные о по сути испытательных полетах публиковаться не будут. Поэтому и в настоящей статье авторы не будут конкретизировать числовые значения отдельных величин, принятых для вычислительного эксперимента, а сошлутся только на общую информацию, имеющуюся в интернете. Более того, авторы не претендуют на какие-либо выводы в количественном выражении, поскольку такие выводы могут опираться лишь на математическую модель, прошедшую испытания на адекватность. Однако, учитывая большой цикл проведенных работ по исследованию поведения самолета Ил-76ТД [9–11], а также самолета Ил-96-300 с двигателями ПС-90А [12, 13], можно рассчитывать на достаточно убедительные качественные результаты вычислительного эксперимента на СММ ДП ЛА.

Что касается внешних условий, то, например, сведения о климатических условиях взяты из [15], сведения об аэродроме из [16], а о состоянии взлетно-посадочной полосы (ВПП) из [17] (Рубен Есаян: «...полосу нужно "шершавить", т. е. крошить поверхность льда специальными катками, чтобы обеспечить необходимое сцепление колес шасси» – рис. 1) и [18, 19] – рис. 2, 3.



Рис. 1. Каток для ледяной ВПП
Fig. 1. Rink for ice runway

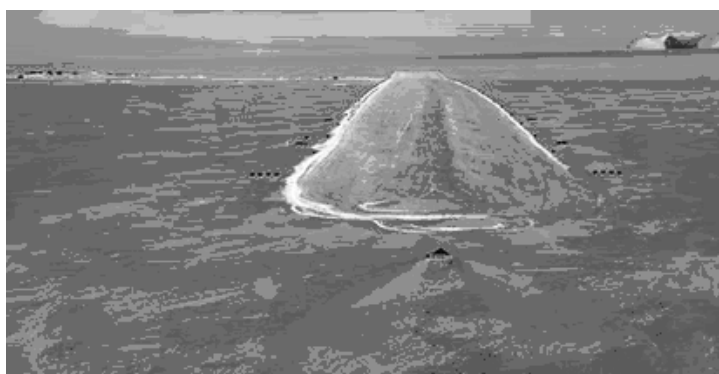


Рис. 2. Ледовый аэродром Новолазаревская
Fig. 2. Ice airfield Novolazarevskaya



Рис. 3. Посадка на ледовую ВПП аэродрома Новолазаревская, боковой ветер 15 м/с
Fig. 3. Landing on an ice runway at Novolazarevskaya, side wind of 15 m/s

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Учитывая все вышесказанное, ставить задачу конкретного определения допустимых границ эксплуатации самолета Ил-76ТД-90ВД в условиях аэродрома Новолазаревская в Антарктиде не представляется возможным. Поэтому внимание авторов было сосредоточено на получении результатов для достаточно корректного качественного анализа поведения самолета в таких условиях.

Задачей данной статьи является демонстрация возможностей СММ ДП ЛА по корректному воспроизведению известных случаев посадки на ледовые аэродромы Антарктиды. В случае получения конкретных данных возможно проведение глубокого анализа возможных ситуаций, в том числе и при отказах функциональных систем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В [20] размещены видеоматериалы посадок самолета Ил-76ТД на ледовом аэродроме в Антарктиде. Характерным явлением в нескольких из них является разворот самолета в конце пробега, т. е. на малой скорости (рис. 4–7).



Рис. 4. Положение самолета на 30 с пробега
Fig. 4. The position of the aircraft at 30 s of run



Рис. 5. Положение самолета на 40 с пробега
Fig. 5. The position of the aircraft at 40 s of run



Рис. 6. Положение самолета на 55 с пробега
Fig. 6. The position of the aircraft at 55 s of run



Рис. 7. Положение самолета на 69 с пробега
Fig. 7. The position of the aircraft at 69 s of run

Был проведен вычислительный эксперимент, воспроизводивший посадку при слабом боковом ветре на плоскую горизонтальную ВПП. При определенных сочетаниях состояния ВПП (характеризующегося нормативным коэффициентом сцепления $\mu_{\text{сц. норм}}$) и применения реверса и торможения колесами такой эффект, как на видео, был зафиксирован (рис. 8 и 9). Здесь время отсчитывается от момента касания ВПП, а пробег на рис. 4–7 – справа налево.

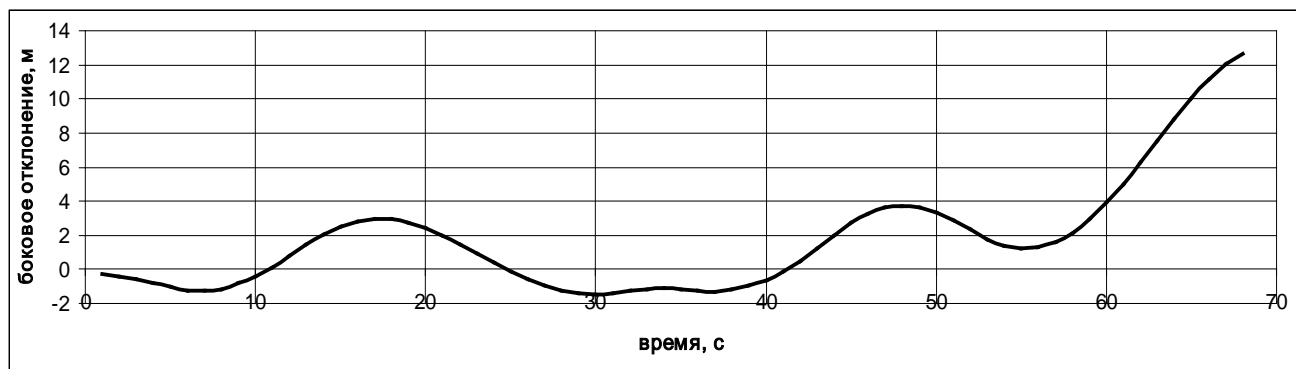


Рис. 8. Боковое отклонение от оси ВПП на пробеге
Fig. 8. Lateral deviation from the runway center line on the run

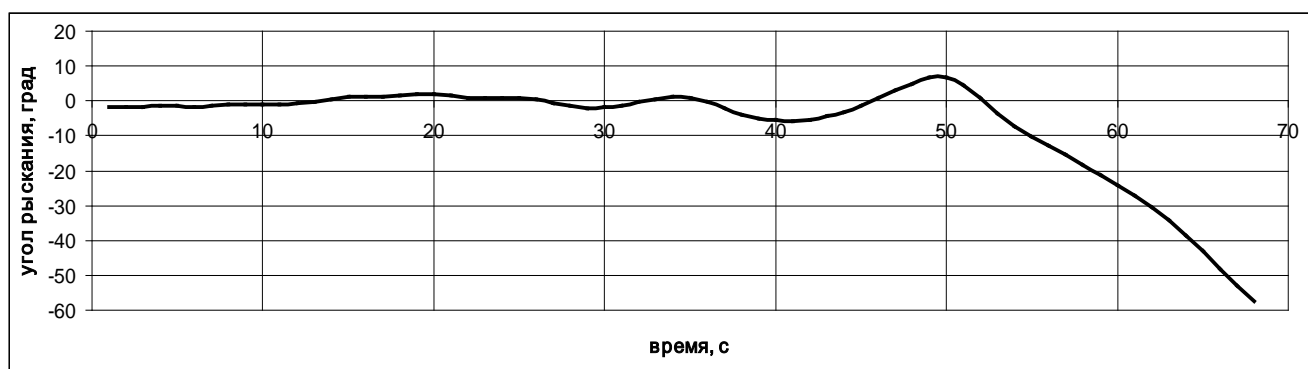


Рис. 9. Угол рыскания на пробеге
Fig. 9. Yaw angle on the run

Удалось показать, что манера управления пилота в этих условиях мало влияет на качественный характер поведения самолета. Самый существенный фактор, приводящий к такому маневру, скрывается в особенностях связи продольного и поперечного сцепления колес шасси с ВПП.

Другой вычислительный эксперимент, воспроизводящий ситуацию, изображенную в подписи к рис. 3, позволил идентифицировать минимально возможное значение нормативного коэффициента сцепления $\mu_{сц\ норм} = 0,42$ в предположении, что посадка завершилась благополучно. Следует заметить, что такое значение коэффициента сцепления входит в диапазон от 0,3 до 0,5, который предусматривается для оценки состояния уплотненного снега при температуре ниже $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ Руководством по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации (РЭГА РФ-94). М., Воздушный транспорт, 1996.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты, качественно совпадающие с известными ситуациями, свидетельствуют о возможности СММ ДП ЛА адекватно воспроизвести разнообразные случаи посадки самолета Ил-76ТД-90ВД на ледовые аэродромы Антарктиды и идентифицировать отдельные неточно известные параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 190 тонн для Антарктиды. Авиакомпания «Волга-Днепр», 28 апреля 2016 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aviaru.net/pr/?id=36008> (дата обращения: 27.07.2016).
2. В рамках летных испытаний самолета Ил-76ТД-90ВД в Антарктиде выполнено десантирование груза парашютным способом [Электронный ресурс]. URL: <http://gosniiga.ru/>

main/108-v-ramkah-letnyh-ispytaniy-samoleta-il-76td-90vd-v-antarktide-vypolneno-desantirovanie-gruza-parashyutnym-sposobom.html (дата обращения: 27.07.2016).

3. Кубланов М.С., Кузьмина Ю.Е., Ципенко В.Г. Система математического моделирования динамики полета для исследования полетных ситуаций и обучения летного состава // VI Всесоюзная научно-практическая конференция «Безопасность полетов и человеческий фактор в авиации». Тезисы докладов. Ленинград: ОЛАГА, 1991. С. 10–11.

4. Кубланов М.С. Устойчивый алгоритм моделирования работы шасси // Обеспечение безопасности полетов при эксплуатации гражданских воздушных судов. М.: МИИГА. 1991. С. 54–59.

5. Кубланов М.С., Ципенко В.Г., Бариллов Д.Д. Архитектура системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов // Математическое моделирование в задачах летной эксплуатации воздушных судов: сб. научных трудов. М.: МИИГА, 1993. С. 3–11.

6. Кубланов М.С. Основные принципы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. 2001. № 37. С. 11–15.

7. Кубланов М.С., Бехтина Н.Б. Факторы, определяющие взаимодействие авиационного шасси с взлетно-посадочной полосой // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. 2005. № 81. С. 80–86.

8. Кубланов М.С. Проверка адекватности математических моделей // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 211. С. 29–36.

9. Кубланов М.С. Математическое моделирование аварии Ил-76 в Иркутске 26.07.99 // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. 2000. № 23. С. 21–27.

10. Киселевич В.Г., Кубланов М.С., Ципенко В.Г. Выявление предельных эксплуатационных возможностей самолета Ил-76ТД с повышенным значением взлетной массы // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 177. С. 7–9.

11. Киселевич В.Г., Кубланов М.С., Ципенко В.Г. Моделирование захода на посадку и посадки самолета Ил-76 с различными посадочными массами и при отказе двигателей // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 188. С. 7–9.

12. Разработка рекомендаций по летной эксплуатации самолета Ил-96Т при отказе двигателей на взлете / В.Г. Киселевич, М.С. Кубланов, В.Г. Ципенко, К.О. Чернигин // Научный Вестник УВАУ ГА (И). 2014. № 6. С. 17–23.

13. Ермаков А.Л., Кубланов М.С., Чернигин К.О. Особенности летной эксплуатации самолета Ил-96Т при прерванном и продолженном взлете // Материалы XXVI научно-технической конференции по аэродинамике. М.: ЦАГИ, 2015. С. 113–114.

14. Кубланов М.С. Математическое моделирование задач летной эксплуатации воздушных судов на взлете и посадке: монография. М.: РИО МГТУ ГА, 2013. 270 с.

15. <http://ru.rfwiki.org/wiki/Новолазаревская> (дата обращения: 27.07.2016).

16. http://wikipedia.wiki/википедия/Список_аэродромов_Антарктиды (дата обращения: 27.07.2016).

17. http://www.gosniiga.ru/oldsite/news_12_03_1.html (дата обращения: 27.07.2016).

18. <http://www.oko-planet.ru> (дата обращения: 27.07.2016).

19. <http://sdelanounas.ru/blogs/63681/> (дата обращения: 27.07.2016).

20. Ил-76 в Антарктиде [Электронный ресурс]. URL: http://video.sibnet.ru/video1336765-Ил_76_v_Antarktide/ (дата обращения: 27.07.2016).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кубланов Михаил Семенович, доктор технических наук, профессор, профессор МГТУ ГА, akpla@yandex.ru.

Чернигин Константин Олегович, доцент МГТУ ГА, akpla@yandex.ru.

MATHEMATICAL MODELING OF PLANE IL-76TD-90VD LANDING IN ANTARCTICA

Michael S. Kublanov¹, Konstantin O. Chernigin¹

¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Based on the information from the Internet the authors decided to reproduce the possible conditions of landing the plane IL-76TD-90VD in Antarctica in their computer experiment using the mathematical modeling system of aircraft flight dynamics (MMS AFD), which is developed and continuously improved in MSTUCA. MMS AFD has already shown its ability to complete such tasks for different aircraft types in various conditions, including IL-76TD, IL-96-300, IL-96T and also slippery runways.

For the computational experiments the information from the web sources was used. The authors did not aim to produce a final numerical results, which describe the possible operating conditions. It was expected only to get accurate qualitative results, which can adequately describe the behavior of the airplane IL-76TD-90VD when landing on the slippery runway.

So, the authors were able to obtain a typical turn of plane at the end of run and show that the pilot style in these conditions has little effect on the qualitative behavior of the aircraft. The most important factor leading to such maneuvers, lies in the special connection of longitudinal and lateral friction of gear wheels with runway.

The authors managed to identify the minimum allowed value of standard friction coefficient of the runway (0,42) which allows a safe landing under crosswind 15 m/s.

The results that agree qualitatively with the known situations indicate the possibility for MMS AFD to properly reproduce various cases of aircraft IL-76TD-90VD landing to Antarctica ice airfield and identify any inaccurately known parameters.

Key words: mathematical modeling system of aircraft flight dynamics, landing, IL-76TD-90VD, low runway coefficient of friction.

REFERENCES

1. 190 tonn dlya Antarktity. Aviakompaniya «Volga-Dnepr», 28 aprelya 2016 goda [190 Tonnes for Antarktica. Airline «Volga-Dnepr», April 26, 2016]. Available at: <http://www.aviaru.net/pr/?id=36008> (accessed: 27.07.2016). (in Russian)
2. V ramkakh letnykh ispytaniy samoleta Il-76TD-90VD v Antarktide vihpolneno desantirovanie gruzha parashyutnykh sposobom [Cargo Landing was performed by Parachute in Antarktica at Part of the Aircraft Il-76TD-90VD Flight Test]. Available at: <http://gosniiga.ru/main/108-v-ramkah-letnyh-ispytaniy-samoleta-il-76td-90vd-v-antarktide-vypolneno-desantirovanie-gruzha-parashyutnykh-sposobom.html> (Accessed: 27.07.2016). (in Russian)
3. Kublanov M.S., Kuz'mina Yu.E., Tsipenko V.G. Sistema matematicheskogo modelirovaniya dinamiki poleta dlya issledovaniya poletnykh situatsii i obucheniya letnogo sostava [Mathematical Modeling System of Flight Dynamics for Flight Situation Research and Flying Personnel training]. VI vsesoyuznaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Bezopasnost poletov i chelovecheskii faktor v aviatsii". Tezisy dokladov. Leningrad. OLAGA. [VI All-Union Scientific-Practical Conference of Flight Safety and Human Factors in Aviation. Abstracts. Section 7. Leningrad. LOACA]. Leningrad. 1991. pp. 10–11. (in Russian)
4. Kublanov M.S. Ustoichiviy algoritm modelirovaniya raboty shassi [A Steady Algorithm for Modeling the landing gear]. Obespechenie bezopasnosti poletov pri ekspluatatsii grazhdanskikh vozdukhnykh sudov [Ensuring Flight Safety During Operation of Civil Aircraft]. Moscow. MIECA. 1991. pp. 54–59. (in Russian)
5. Kublanov M.S., Tsipenko V.G., Barilov D.D. Arkhitektura sistemy matematicheskogo modelirovaniya dinamiki poleta letatel'nykh apparatov [Architecture of Mathematical Modeling System of Aircraft Flight Dynamics]. Matematicheskoe modelirovanie v zadachakh letnoi ekspluatatsii vozdukhnykh sudov. Sbornic Nauchnykh Trudov [Mathematical Modeling in Problems Aircraft Flight Operation. Scientific Papers Collection]. Moscow. MIECA. 1993. Pp. 3–11 (in Russian).

6. Kublanov M.S. *Osnovnye printsipy matematicheskogo modelirovaniya dinamiki poleta letatel'nykh apparatov* [Fundamental Principles of Mathematical Modeling of Aircraft Flight Dynamics]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA. Ser. Aeromekhanika i prochnost* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2001, no. 37, pp. 11–15. (in Russian)

7. Kublanov M.S., Bekhtina N.B. *Faktory, opredelyayushchie vzaimodeistvie aviatsionnogo shassi s vzletno-posadochnoi polosoi* [Factors Determining the Interaction of Aircraft Gear with Runway]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA. Ser. Aeromekhanika i prochnost* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2005, no. 81, pp. 80–86. (in Russian)

8. Kublanov M.S. *Proverka adekvatnosti matematicheskikh modelei* [Verification Mathematical Model Adequacy]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2015, no. 211, pp. 29–36. (in Russian)

9. Kublanov M.S. *Matematicheskoe modelirovanie avarii Il-76 v Irkutske 26.07.99* [Mathematical Modeling of IL-76 Incident in Irkutsk 26.07.99]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA. Ser. Aeromekhanika i prochnost* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2000, no. 23, pp. 21–27. (in Russian)

10. Kiselevich V.G., Kublanov M.S., Tsipenko V.G. *Vyyavlenie predel'nykh ekspluatatsionnykh vozmozhnostei samoleta Il-76TD s povyshennym znacheniem vzletnoi massy* [Detection Limit of Operational Capabilities IL-76TD with Elevated Values Takeoff Weight]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2012, no. 177, pp. 7–9. (in Russian)

11. Kiselevich V.G., Kublanov M.S., Tsipenko V.G. *Modelirovanie zakhoda na posadku i posadki samoleta Il-76 s razlichnymi posadochnymi massami i pri otkaze dvigatelei* [Modeling Approach and Landing IL-76 with Various Landing Weight and Engine Failure]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of MSTUCA], 2013, no. 188, pp. 7–9. (in Russian)

12. Kiselevich V.G., Kublanov M.S., Tsipenko V.G., Chernigin K.O. *Razrabotka rekomendatsii po letnoi ekspluatatsii samoleta Il-96T pri otkaze dvigatelei na vzlete* [Development of Recommendations on Flight Operations of Aircraft IL-96T at Engine Failure on Takeoff]. *Nauchnyi Vestnik UVAU GA (I)* [Scientific Bulletin of UHASCA (I)], 2014, no. 6, pp. 17–23. (in Russian)

13. Ermakov A.L., Kublanov M.S., Chernigin K.O. *Osobennosti letnoi ekspluatatsii samoleta Il-96T pri prervannom i prodolzhennom vzlete* [Peculiarities of Aircraft IL-96T Flight Operation when Discontinued and Continued Takeoff]. *Materialy XXVI nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po aerodinamike. M. TSAGI* [Proceedings of the XXVI Scientific and Technical Conference on Aerodynamics] Moscow. CAI. 2015. Pp. 113–114. (in Russian)

14. Kublanov M.S. *Matematicheskoe modelirovanie zadach letnoi ekspluatatsii vozdushnykh sudov na vzlete i posadke: monografiya* [Mathematical Modeling of Problems of Aircraft Flight Operation on Takeoff and Landing: monograph]. Moscow. MSTUCA. 2013. 270 p. (in Russian)

15. <http://ru.rfwiki.org/wiki/Новолазаревская> (accessed: 27.07.2016). (in Russian)

16. http://vikipediya.wiki/википедия/Список_аэродромов_Антарктиды (accessed: 27.07.2016). (in Russian)

17. http://www.gosniiga.ru/oldsite/news_12_03_1.html (accessed: 27.07.2016). (in Russian)

18. <http://www.oko-planet.su> (accessed: 27.07.2016). (in Russian)

19. <http://sdelanounas.ru/blogs/63681/> (accessed: 27.07.2016). (in Russian)

20. IL-76 in Antarctica. Available at: http://video.sibnet.ru/video1336765-II_76_v_Antarktide/ (accessed: 27.07.2016). (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kublanov Michael Semyonovich, Doctor of Science, Full Professor, Professor of Moscow State Technical University of Civil Aviation, akpla@yandex.ru.

Chernigin Konstantin Olegovich, Assistant Professor of Moscow State Technical University of Civil Aviation, akpla@yandex.ru.