

Онтологическое моделирование аппаратов на динамической воздушной подушке

Аршинский Леонид Вадимович¹, Скоробогатова Марина Викторовна²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, Иркутск, *larsh@mail.ru*

² Московский государственный университет гражданской авиации, Иркутский филиал, Россия, Иркутск, *marina.vik@mail.ru*

Аннотация. В работе на основе онтологического моделирования отражаются основные особенности такой предметной области, как летательные аппараты на динамической воздушной подушке. Показана связь онтологий с различными задачами предметной области, включая задачи оптимизации формы крыла конечного размаха, движущегося на сверхмалых отстояниях от опорной поверхности. Выделены особенности постановок задач оптимального проектирования низколетящих крыльев. Отмечено, что соответствующие онтологии можно развивать и они могут использоваться для классификации и систематизации различных задач, позволяя явно сформулировать идеи и концепции, лежащие в основе получаемых решений.

Ключевые слова: онтологическое моделирование, аппараты на динамической воздушной подушке, низколетящее крыло, оптимальное проектирование

Цитирование: Аршинский Л.В. Онтологическое моделирование аппаратов на динамической воздушной подушке / Л.В. Аршинский, М.В. Скоробогатова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 2(26). – С. 139-146. – DOI:10.38028/ESI.2022.26.2.013.

Введение. Как представляется, полезность онтологического моделирования заключается не только в том, что с его помощью можно представить основные концептуальные понятия предметной области и отношения между ними, но и в том, что общее описание предметной области, как системы, позволяет глубже понять какие задачи в ней существуют и как их можно решать.

Одной из интересных и практически востребованных предметных областей являются летательные аппараты (ЛА), движущиеся на малых и сверхмалых относительных отстояниях от твёрдой поверхности (вода, грунт). Эти аппараты, называемые аппаратами на динамической воздушной подушке (АДП), характеризуются высокими эксплуатационными свойствами по сравнению с привычными транспортными средствами (ТС): скоростью, грузоподъёмностью, относительной амфибийностью. Вместе с тем разработка таких ТС нетривиальна. Проблемы связаны с тем, что т.н. опорная поверхность – граница раздела сред под крылом – существеннейшим образом влияет на поведение аппарата: его аэродинамические характеристики (АДХ), динамику и статику полёта, и т.д. Это нужно учитывать при проектировании. Авторы продолжительный срок занимались задачами оптимизации изолированного низколетящего крыла для АДП и обратили внимание, что порой даже специалисты из родственных предметных областей (например, в области самолётостроения и эксплуатации самолётов), не всегда понимают особенности движения таких ТС (например, определяющую роль нижней поверхности крыла в формировании АДХ, возможность кратного, а не в единицах, процентов, изменения значений АДХ при изменении формы крыла, и так далее). В этих задачах опорная поверхность приводит к нетрадиционным, по сравнению с безграничной жидкостью, постановкам, из-за чего возникают вопросы у тех, кто не знаком с ними. Одним из способов преодолеть подобное недопонимание является онтологическое моделирование (улучшение взаимопонимания

между специалистами – одна из традиционных целей онтологий). Оно же позволяет внимательнее взглянуть и на классификацию задач проектирования АДП, а также на методы их решения.

Следует отметить, что несмотря на наличие работ по онтологическому моделированию ЛА и связанных с этим вопросов (см. напр. [1-5]), онтологий, посвящённых именно АДП, авторам встретить не удалось. Возможно это связано с достаточно ограниченным кругом специалистов, работающих сегодня в этой области.

1. Описание предметной области. АДП – это особый класс ЛА (также говорят о судах на динамической воздушной подушке – морская терминология здесь тоже применяется), интерес к которым сформировался ещё в 30-х годах прошлого века и не спадает до сих пор [6-9]. Их отличительной чертой является конструктивное использование т.н. «эффекта экрана», когда между крылом низколетящего ЛА и твёрдой поверхностью (грунт, вода) возникает дополнительное давление, воздействующее на крыло и повышающее, например, его подъёмную силу. Оно может быть столь велико, что подъёмная сила крыла возрастает кратно по сравнению с безграничным потоком [6, 7]. Существенно меняются и другие АДХ. Это позволяет, к примеру, проектировать суда с высокой грузоподъёмностью и аэродинамическим качеством (отношением подъёмной силы к аэродинамическому сопротивлению) при скоростях движения, как у небольших самолётов. Т.к. эксплуатировать подобные аппараты предполагается в основном над водной поверхностью, их проектированием часто занимаются не авиационные, а «водные» инженеры, отсюда же и судовая терминология (пример – известные разработки Р.Е. Алексеева [8, 9]).

Условия обтекания АДП порождают явления, отсутствующие в безграничной жидкости. Например, проблему их статической устойчивости (без преувеличения можно сказать, что это, пожалуй, главное препятствие к повсеместному распространению подобных ТС: в отличие от ЛА в безграничной жидкости здесь существуют два аэродинамических фокуса – фокус по тангажу и фокус по отстоянию, учёт взаимного расположения которых крайне важен, ошибки могут привести к аварии или катастрофе [10-12]). Имеются и другие проблемы. В частности, на полёт влияет форма опорной поверхности, когда аппарат движется над водой, осложнена его горизонтальная циркуляция и т.д. Это делает соответствующие задачи системными по своей сути: слишком велико здесь взаимное влияние частей. Сама система по существу сводится к трём основным составляющим: крыло-набегающий поток-опорная поверхность. Их взаимосвязь, а также взаимосвязь более мелких компонентов определяют весь облик предметной области.

Как показали исследования, влияние твёрдой поверхности тем явственнее, чем меньше относительная высота полёта, измеряемая в длинах хорды или размаха. При этом существенно меняется математика предметной области. В частности, традиционные в аэродинамике интегро-дифференциальные модели превращаются в дифференциальные уравнения в частных производных [13-16]. Это несколько упрощает моделирование (хотя модели остаются достаточно сложными, нелинейными), позволяя отойти от прямых численных методов, которые не очень подходят, например, для обратных задач (к ним относятся и задачи оптимизации).

Известно, что оптимизационные задачи часто требуют аналитических или квазианалитических решений, получить которые можно, как правило, идя на разные упрощения асимптотического характера. Пониманию того, чем можно пожертвовать и от чего отказаться, способствуют опыт исследователя и знание им предметной области. Однако упрощения порой носят случайный, бессистемный характер, зависящий от конкретных обстоятельств. Инструментом их систематизации могут послужить онтологии. Они позволяют эти представления формализовать и перевести на более высокий уровень. С их же помощью удобно разъяснять смежным специалистам, привыкшим к своим постановкам и

формулировкам, особенности именно данной предметной области. Как показывает опыт, проблема взаимопонимания – это действительно актуальная проблема.

2. Онтологическое моделирование АДП. В основе онтологического моделирования лежит формальное описание предметной области системой концептов (понятий), отношений между ними и аксиом предметной области. В этом смысле, согласно Груберу, онтология представляет собой «спецификацию концептуализации» [17]. Концептуализация предполагает выделение в предметной области элементов, которые необходимы для данной области [18]. Онтологии делятся на «тяжёлые» и «лёгкие» [18]. Первые определяются как:

$$O = \langle C, P, R, A \rangle,$$

где C – конечное множество концептов, P – конечное множество свойств концептов, R – конечное множество отношений, A – конечное множество аксиом (функций интерпретации). Вторые – содержат только концепты и отношения. Они определяются как:

$$O = \langle C, R \rangle.$$

Для описания «тяжелых» онтологий, как правило, используются специальные языки.

Разрабатываемая онтология системы «крыло-набегающий поток-опорная поверхность» реализуется в классе лёгких и может представляться графом с вершинами-концептами и дугами-отношениями между концептами. Сначала рассмотрим проблему в более общем контексте всего АДП в целом – рисунок 1.

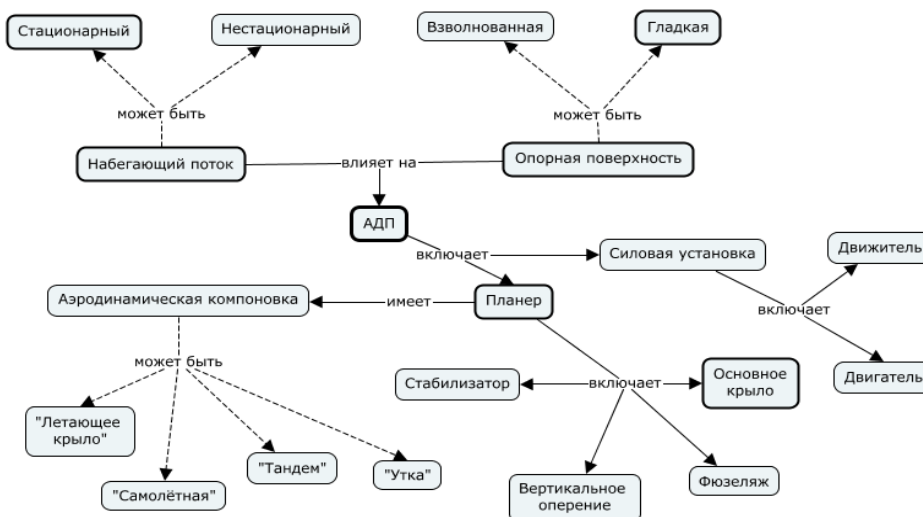


Рис. 1. Онтология АДП в целом

Данная онтология содержит главные составляющие, влияющие на АДХ. Иные элементы (например, шасси, бортовое оборудование – авионику и т.д.) опускаем. Это – метаонтология, отражающая контекст проблемы проектирования АДП. В частности – проблемы оптимизации изолированного низколетящего крыла, которая исследовалась авторами (см., напр. [19-22]).

Отношения «включает» и «влияет на» конъюнктивные (сплошная линия), «может быть» – исключающее ИЛИ (XOR) (пунктирная линия).

Онтология на рис. 1 имеет иллюстративный, не исчерпывающий характер. Однако уже на её основе можно выделить важные классы задач, связанных с АДП:

1. Задачи статической устойчивости – концепты «Аэродинамическая компоновка», «Основное крыло», «Стабилизатор», «Фюзеляж», «Набегающий поток» («Стационарный»), «Опорная поверхность» («Гладкая»).

2. Задачи динамической устойчивости – концепты «Аэродинамическая компоновка», «Основное крыло», «Стабилизатор», «Фюзеляж», «Набегающий поток» («Нестационарный»), «Опорная поверхность» («Гладкая» или «Взволнованная»).

3. Задачи оптимальной компоновки – концепты «Аэродинамическая компоновка», «Основное крыло», «Стабилизатор», «Фюзеляж», «Силовая установка», «Набегающий поток» («Стационарный»), «Опорная поверхность» («Гладкая»).

4. Задачи движения крыла над взволнованной поверхностью – концепты «Основное крыло», «Набегающий поток», «Опорная поверхность» («Взволнованная»).

5. Задачи движения АДП над взволнованной поверхностью – концепты «Аэродинамическая компоновка», «Основное крыло», «Стабилизатор», «Фюзеляж», «Набегающий поток» («Стационарный»), «Опорная поверхность» («Взволнованная»).

6. Задачи оптимизации основного крыла – концепты «Основное крыло», «Набегающий поток» («Стационарный»), «Опорная поверхность» («Гладкая»).

Онтологию можно развивать и дополнять с учётом решаемых задач.

В работах авторов рассматривается шестой класс задач – оптимизации формы (изолированного) крыла, движущегося в стационарном потоке над гладкой поверхностью (на рис. 2 выделено). Т. е. рассматривается главный элемент любого ЛА – основное крыло. Несмотря на то, что набегающий поток и опорная поверхность воздействуют на АДП в целом, главный элемент влияния со стороны набегающего потока и опорной поверхности – именно основное крыло (в аэродинамической компоновке «Самолётная» стабилизатор, например, вообще вынесен из зоны влияния опорной поверхности). На нём создаётся основная подъёмная сила и другие связанные с ним аэродинамические характеристики.

Крыло, как конструктивный элемент, можно описать онтологией на рисунке 2.

Здесь, как и на рис. 1, отношение «включает» конъюнктивное, отношение «может быть» – исключающее ИЛИ. Иные составляющие и их особенности, вроде средств механизации и т.п., не рассматриваем.

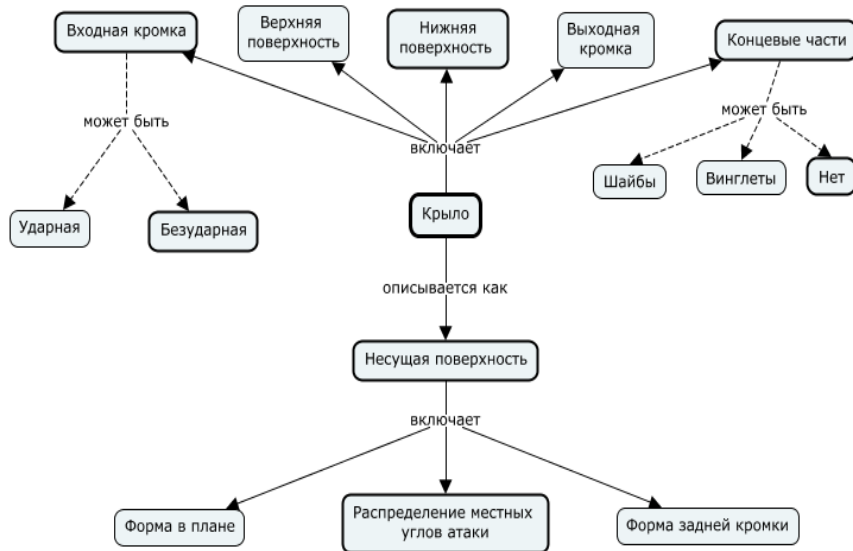


Рис. 2. Основное крыло применительно к рассматриваемой задаче

Рисунок 2 систематизирует представление об основных конструктивных особенностях низколетящего крыла при его оптимизации. При разработке математической модели для таких задач исходят из того, что крыло – это основа АДП, причём на сверхмалых отстояниях несущая поверхность крыла фактически совпадает с его нижней поверхностью [7, 16, 23].

Это означает, что проектировать нужно именно нижнюю поверхность (в отличие от безграничной жидкости, где основной вклад вносит верхняя поверхность крыла). Входную кромку целесообразно проектировать как безударную (обеспечивающую безударный вход крыла в поток). Это снижает общее аэродинамическое сопротивление [16]. Концевые части часто полагают «простыми» (нет шайб, винглетов и т.п.). Крыло можно оптимизировать комплексно, с учётом формы в плане, формы задней кромки и распределения местных углов атаки, как в [16, 19, 20, 23], а можно только для местных углов атаки при заданной форме в плане и задней кромки, как в [21, 22]. Допустимы различные комбинации в зависимости от сложности решаемых задач. В последнем случае эффекта добиваются за счёт «местной крутки» крыла. На рис. 1 и 2 соответствующие концепты выделены. Именно в таких постановках авторами решались задачи о крыле с максимальной подъёмной силой и крыле с максимальным градиентом подъёмной силы по отстоянию ([19, 20] и др.), крыле с минимальным абсолютным значением аэродинамической производной момента тангажа по отстоянию и крыле с максимальным значением аэродинамической производной подъёмной силы по отстоянию при фиксированном значении аэродинамической производной момента тангажа по отстоянию ([21, 22] и др.). Интересно, что соответствующие формы крыльев в этих постановках оказались качественно близки друг другу.

Заключение. В работе представлены онтологии АДП и его основного крыла, взятые за основу в работах авторов по оптимизации несущего крыла такого типа ТС. Показана связь онтологий с различными задачами предметной области, включая задачи оптимизации формы крыла конечного размаха, движущегося на сверхмалых отстояниях от опорной поверхности. Выделены особенности постановок задач оптимального проектирования таких крыльев, используемые в подобных работах.

Отмечено, что соответствующие онтологии могут использоваться для классификации и систематизации задач в рассмотренной предметной области и позволяют явно сформулировать идеи и концепции, лежащие в основе их решения.

Список источников

1. Боргест Н.М. Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы. – Самара: СГАУ, 2010. – 88 с.
2. Лебедев С.В. Онтолого-ориентированное проектирование подсистемы оценки обстановки интеллектуального агента реального времени / С.В. Лебедев, М.Г. Пантелеев // Второй Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта (БТС-ИИ-2015)» (9 октября 2015г., г. Санкт-Петербург, Россия) : Труды семинара. – Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника-сервис», 2015. – С. 83-90.
3. Павлов П.Ю., Онтологическая структуризация в параллельном инжиниринге проектирования сборочных приспособлений для летательных аппаратов / П.Ю. Павлов, П.И. Соснин, А.В. Лебедев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016. Т. 18, No1(2). – С. 373-377
4. Гришин М.В. Применение прецедентно-ориентированного метода в задачах поддержки жизненного цикла авиационного изделия / М.В. Гришин, А.Г. Берг, А.С. Кузнецов, [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2018. –Т. 20, –№ 4(3). – С. 391-398.
- Лукашевич Н.В., Невзорова Н.А. АвиаОнтология: анализ современного состояния ресурса. – <https://www.dialog-21.ru/media/2545/lukashevich.pdf>.
5. Белавин Н.И. Экранопланы / Н.И. Белавин. – Л.: Судостроение, 1977. – 230 с.
6. Панченков А.Н. Экспертиза экранопланов / А.Н. Панченков, П.Т. Драчев, В.И. Любимов. – Нижний Новгород: Поволжье, 2006. – 656 с.
7. Жуков К. 9 этапов развития экранопланов, 2015. – URL: <https://warspot.ru/2356-9-etapov-razvitiya-ekranoplanov>
8. Морские монстры: экранопланы СССР и России, 2017. – <https://life.ru/p/991585>

9. Иродов Р.Д. Критерии продольной устойчивости экраноплана / Р.Д. Иродов // Ученые записки ЦАГИ, 1970. – Т.1. – № 4. – С. 63-72.
10. Суржик В.В. Структурно-параметрический синтез математических моделей экранопланов / В.В. Суржик.– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012 – 196 с.
11. Белецкая С.Б. Оптимизация конструктивных параметров несущих гидродинамических комплексов скоростных судов : специальности 05.08.01 «Теория корабля и строительная механика», 05.08.03 «Проектирование и конструкция судов» : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / Белецкая Светлана Борисовна; Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 1999. – 188 с.
12. Панченков А.Н. Основы квадрупольной теории крыла вблизи твёрдой границы / А.Н. Панченков // Асимптотические методы в теории систем. – Иркутск, 1974. – С. 68-98.
13. Панченков А.Н. Квадрупольная теория крыла // А.Н. Панченков // Асимптотические методы в динамике систем. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 5-116.
14. Шлаустас Р.Ю. Второе приближение квадрупольной теории крыла в теории несущей поверхности / Р.Ю. Шлаустас // Методы возмущений в механике. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 56-69.
15. Панченков А.Н. Теория оптимальной несущей поверхности / А.Н. Панченков. – Новосибирск: Наука, 1983. – 256 с.
16. Gruber T. R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference, 1991, pp. 601-602.
17. Гаврилова Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. – СПб : Издательство «Лань», 2016. – 324 с.
18. Аршинский Л.В. Оптимизация геометрии крыла вблизи опорной поверхности : специальность 01.02.05 «Механика жидкостей, газа и плазмы» : диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук /Аршинский Леонид Вадимович; Институт теоретической и прикладной механики. – Новосибирск, 1990. – 190 с.
19. Аршинский Л.В., Борисюк М.Н. Оптимизация несущих поверхностей экранопланов // Панченков А.Н.: физик, математик, инженер / Сб.тр. под общей ред. проф. Данеева А.В. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – С. 292-309.
20. Скоробогатова М.В. Методика численного определения оптимальной формы низколетящего крыла как элемента системы «Летательный аппарат-поверхность» / М.В. Скоробогатова, Л.В. Аршинский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, 2017. – №3 (55). – С. 168-174.
21. Скоробогатова М.В. Сравнительный анализ оптимальной геометрии нижней поверхности низколетящего крыла, полученной в результате решения оптимизационной задачи аналитическим и численным методами / М.В. Скоробогатова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2017. – №3(7). – С. 75-85.
22. Борисюк М.Н. Исследование оптимальных соотношений крыльев вблизи твёрдой границы / М.Н. Борисюк // Асимптотические методы в динамике. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 116-126.

Аршинский Леонид Вадимович. 1957 г. рождения, окончил Иркутский государственный университет в 1979 г., профессор кафедры «Информационные системы и защита информации» Иркутского государственного университета путей сообщения, д.т.н., доцент, Author ID: 520252, SPIN-код: 9286-4084, ORCID: 0000-0001-5135-7921, larsh@mail.ru.

Скоробогатова Марина Викторовна. 1972 г. рождения, окончила Иркутский государственный университет в 1994 г., старший преподаватель кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Иркутского филиала Московского государственного технического университета Гражданской авиации, AuthorID: 946198, SPIN-код: 3032-7523, marina.vik@mail.ru.

Ontological modeling of vehicles of dynamic air cushion

Leonid V. Arshinskiy¹, Marina V. Skorobogatova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Russia, Irkutsk, *larsh@mail.ru*

² Irkutsk Branch of the Moscow State University of Civil Aviation, Russia, Irkutsk, *marina.vik@mail.ru*

Abstract. The work discusses of ontological modeling of such a subject area as vehicles of dynamic air cushion. The connection of ontologies with various tasks of this subject area is shown. The optimization of the shape of a wing of finite span moving at ultra-small distances from the ground surface is discusses too. In context of ontologies, the features of the formulation of optimal design problems of low-flying wings are highlighted. It is noted that the corresponding ontologies can be used to classify and systematize various tasks in this subject areas. They allow to explicitly formulate the ideas and concepts underlying the corresponding solutions.

Keywords: ontological modeling, dynamic air-cushion vehicles, ground effect wing, optimal design

References

1. N.M. Borgest. Ontology of Designing (theoretical basis). Part 1. Concepts and Principles. Samara: Published at Samara Space University, 2011, 88 p.
2. Lebedev S.V., Panteleev M.G. Ontologo-orientirovannoe proektirovanie podsistemy ocenki obstanovki intellektual'nogo agenta real'nogo vremeni [Ontology-oriented design of a subsystem for assessing the situation of an intelligent real-time agent]. The second All-Russian scientific and practical seminar "Unmanned vehicles with elements of artificial intelligence (BTS-II-2015)" (October 9, 2015, St. Petersburg, Russia), Proceedings of the seminar, St. Petersburg: Publishing House "Polytechnic-service", 2015, pp. 83-90.
3. Pavlov P.Yu., Sosnin P.I., Lebedev A.V. Ontologicheskaya strukturizaciya v parallel'nom inzhiniringe proektirovaniya sborochnyh prispособlenij dlya letatel'nyh apparatov [Ontological structuring in parallel engineering of designing assembly devices for aircraft]. Izvestiya of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Science, 2016, vol. 18, no 1(2), pp. 373-377.
4. Grishin M.V., Berg A.G., Kuznetsov A.S., Lebedev A.V., Pavlov P.V. Primenenie precedentno-orientirovannogo metoda v zadachah podderzhki zhiznennogo cikla aviacionnogo izdeliya [Application of the precedent-oriented method in the tasks of supporting the life cycle of an aircraft product] // Izvestiya of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Science, 2018, vol. 20, no. 4(3), pp. 391-398.
5. Lukashevich N.V., Nevzorova O.A. AviaOntologiya: analiz sovremennogo sostoyaniya resursa [AviaOntology: analysis of the current state resource]. Available at <https://www.dialog-21.ru/media/2545/lukashevich.pdf> (accessed 09 June 2022).
6. Belavin N.I. Ekranoplany [Ground-effect vehicles]. Leningrad, Sudostroenie, 1977, 230 p.
7. Panchenkov A.N., Drachev P.T., Lyubimov V.I. Ekspertiza ekranoplanov [Expertise of ground-effect vehicles]. Nizhnij Novgorod, Povolzh'e, 2006, 656 p.
8. Zhukov K. 9 etapov razvitiya ekranoplanov [9 stages of development of ground-effect vehicles], 2015, available at: <https://warspot.ru/2356-9-etapov-razvitiya-ekranoplanov> (accessed 27 April 2012).
9. Morskije monstry: ekranoplany SSSR i Rossii [Sea monsters: ground-effect vehicles of USSR and Russia], 2017, available at: <https://life.ru/p/991585> (accessed 27 April 2022).
10. Irodov R.D. Kriterii prodol'noj ustojchivosti ekranoplana [Criteria of longitudinal stability of ground-effect vehicles]. Uchenye zapiski TsAGI [TsAGI Science Journal], 1970, vol. 1, no 4, pp. 63-72.
11. Surzhik V.V. Strukturno-parametricheskij sintez matematicheskikh modelej ekranoplanov: monografiya [Structural-parametric synthesis of mathematical models of ground-effect vehicles]. Irkutsk, Izd-vo IrGTU, 2012, 196 p.

12. Beletskaya S.B. Optimizaciya konstruktivnyh parametrov nesushchih gidrodinamicheskikh kompleksov skorostnyh sudov [Optimization of the design parameters of the lifting hydrodynamic complexes of high-speed vessels]. Ph.D. thesis, Nizhnij Novgorod, 1999, 188 p.
13. Panchenkov A.N. Osnovy kvadropol'noj teorii kryla vblizi tvyordoj granicy [Fundamentals of the quadrupole theory of a wing near a solid boundary]. Asimptoticheskie metody v teorii system [Asymptotic methods in systems theory]. Irkutsk, 1974, pp. 68-98.
14. Panchenkov A.N. Kvadropol'naya teoriya kryla [Quadrupole theory of a wing]. Asimptoticheskie metody v dinamike system [Asymptotic methods in the dynamics of systems]. Novosibirsk, Nauka, 1980, pp. 5-116.
15. Shlaustas R.Yu. Vtoroe priblizhenie kvadropol'noj teorii kryla v teorii nesushchej poverhnosti [The second approximation of the quadrupole theory of the wing in the theory of the lifting surface]. Metody vozmushchenij v mekhanike [Perturbation methods in mechanics]. Novosibirsk, Nauka, 1982, pp. 56-69.
16. Panchenkov A.N. Teoriya optimal'noj nesushchej poverhnosti [Theory of optimal lifting surface]. Novosibirsk, Nauka, 1983, 256 p.
17. Gruber T. R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference, 1991, pp. 601-602.
18. Gavrilova T.A., Kudryavcev D.V., Muromcev D.I. Inzheneriya znaniy. Modeli i metody [Knowledge engineering. Models and methods]. SPb, Izdatel'stvo «Lan», 2016. 324 p..
19. Arshinskiy L.V. Optimizaciya geometrii kryla vblizi opornoj poverhnosti [Optimization of the geometry of the wing near the ground]. Ph.D. thesis, Novosibirsk, 1990, 190 p.
20. Arshinskiy L.V., Borisyyuk M.N. Optimizaciya nesushchih poverhnostej ekranoplanov [Optimization of the lifting surfaces of ground-effect vehicles]. Panchenkov A.N.: fizik, matematik, inzhener [Panchenkov A.N.: physicist, mathematician, engineer]. Irkutsk, Irkutsk State Technical University, 2005, pp. 292-309.
21. Skorobogatova M.V., Arshinskiy L.V. Metodika chislennogo opredeleniya optimal'noj formy nizkoletyashchego kryla kak elementa sistemy «Letatel'nyj apparat-poverhnost'» [Method for numerical determination of the optimal shape of a low-flying wing as an element of the "Aircraft-surface" system]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2017, no. 3(55), pp. 168-174.
22. Skorobogatova M.V. Sravnitel'nyj analiz optimal'noj geometrii nizhnej poverhnosti nizkoletyashchego kryla, poluchennoj v rezul'tate resheniya optimizacionnoj zadachi analiticheskim i chislennym metodami [Comparative analysis of the optimal geometry of the lower surface of a low-flying wing obtained as a result of solving the optimization problem by analytical and numerical methods]. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2017, no. 3 (7), pp. 75-85.
23. Borisyyuk M.N. Issledovanie optimal'nyh sootnoshenij kryl'ev vblizi tvyordoj granicy [Investigation of optimal wing ratios near a solid boundary]. Asimptoticheskie metody v dinamike [Asymptotic methods in dynamics]. Novosibirsk, Nauka, 1980, pp. 116-126.

Arshinsky Leonid V. Born in 1957, Graduated from Irkutsk State University in 1979, Professor of the Department "Information Systems and Information Security" of Irkutsk State Transport University, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Author ID: 520252, SPIN-code 9286-4084, ORCID 0000-0001-5135-7921, larsh@mail.ru.

Skorobogatova Marina V. Born in 1972, Graduated from Irkutsk State University in 1994, Senior lecturer of the Department "Natural Sciences" of the Irkutsk branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, Author ID: 946198, SPIN-code: 3032-7523, marina.vik@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 28.04.2022; одобрена после рецензирования 09.06.2022; принята к публикации 14.06.2022.

The article was submitted 04/28/2022; approved after reviewing 06/09/2022; accepted for publication 06/14/2022.