

- // Eksploatatsiya morskogo transporta. Gos. morskoy universitet im. admirala F.F. Ushakova, Novorossiysk. – 2020, №1(94). – С. 207-219.
7. Belykh E. A. Obuchenie kaskadov Khaara // Vestnik Syktyvkarskogo universiteta. Ser. 1: Matematika. Mekhanika. Informatika. 2017. Vyp. 1 (22). С. 41–53.
 8. Chang Buy Tkhi Tkhu, Khoang Fan Ngok, Spitsyn V.G. Raspoznavanie lits na osnove primeniya metoda Violy–Dzhonsa, veyvlet preobrazovaniya i metoda glavnykh komponent // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, t. 320, № 5, 2012. – S. 54-59.
 9. Sheshkus A.V., Matalov D.P., Arlazarov V.V., Nikolaev D.P. Issledovanie kompozitsii algoritmov komp'yuternogo zreniya, baziruyushchikhsya na mashinnom obuchenii, dlya resheniya zadachi lokalizatsii i klassifikatsii ob"ektov // Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk, 2019, T. 69, № 1. – S. 29-36.
 10. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering <https://arxiv.org/abs/1503.03832> (Data obrashcheniya 05.08.2020)
 11. Slipchenko O.O., Klimenko S.V., Stepanova A.Yu. Ispol'zovanie apparata neyrosetey pri raspoznavanii litsa // Aktual'ni problemi avtomatizatsii ta informatsionnykh tekhnologiy. tom 21, 2017. – S. 143-151.
 12. Polkovnikova N.A. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy na osnove svertochnykh neyronnykh setey po raspoznavaniyu ob"ektov na izobrazheniyakh // Materialy III mezhdunarodnogo nauchno-tekhnikeskogo foruma «Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii» (4-6 marta 2020, Ryazan'). – Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy radiotekhnicheskii universitet imeni V.F. Utkina, t.5.– s. 108-112.
 13. Recent advances on memetic algorithms and its applications in image processing. Editors: Hemanth D.J., Kumar B.V., Karpagam Manavalan G.R. – Springer, 2020. – 199 p.
 14. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J.D. Mining of Massive Datasets. – Cambridge University Press, 3rd edition, 2019. – 583 p.
 15. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017. – 7263-7271 pp.
 16. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. Nature, vol. 521 (7553), 2015. – 436-444 pp.
 17. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in neural information processing systems, 2012. – 1097-1105 pp.

УДК 629.125

DOI: 10.34046/aumsuomt96/22

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ТЕСТОВЫХ ЭКРАНОПЛАНОВ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНОВОК

*И. М. Данцевич, кандидат технических наук
В.Н. Прасолов*

В данной статье описываются эксперименты, проведённые с использованием радиоуправляемых и виртуальных моделей экранопланов. Описаны основные проблемы, выявленные в ходе проведения экспериментов, а также обозначены дальнейшие перспективы развития проекта.

Ключевые слова: Экранный эффект, экраноплан, высокоскоростной водный транспорт.

This article describes the experiments carried out using the constructed radio-controlled and virtual models of WISE-craft. The main problems identified during the experiments are described, and further prospects for the development of the project are indicated.

Keywords: Wing in surface effect (WISE), WISE-craft, high-speed water transport.

В настоящее время всё чаще встречается информация об успешных испытаниях таких видов транспорта, идею о создании которых ещё пару десятков лет назад не восприняли бы даже в серьёз. Активно строятся и испытываются мультиторторные аппараты [1] перевозящие, как большие грузы, так и людей; персональные летательные ранцы с турбореактивной тягой с возможностью вертикального взлёта и посадки [2] и многие другие.

Тенденция развития нестандартных видов транспорта объясняется большим скачком в развитии области электронных, материальных и интеллектуальных технологий, а также относительной доступностью всех необходимых материалов, инструментов и информации, позволяющих даже в кустарных условиях осуществлять разработку, постройку и испытание достаточно серьёзных прототипов инновационных транспортных средств.

В связи с этим, также возможно продолжение исследований и разработок прототипов экранопланов, как представителей одного их видов высокоскоростного транспорта, который в силу достигнутого на данный момент нового уровня научно-технического прогресса может получить более широкое распространение, чем образцы прошлого века.

В связи с описанными тенденциями с августа 2019 года в Новороссийске началась работа по постройке и испытаниям тестовых 4 радиоуправляемых и 5 виртуальных моделей экранопланов.

Основой первого аппарата послужило прямое крыло малого удлинения, поставленное на 2 концевые шайбы-поплавка. Для осуществления поступательного движения были установлены 2 бесколлекторных электродвигателя. Для стабилизации и управления были установлены дополнительные консоли крыла с положительным «V» и элеронами, а также П-образный стабилизатор с рулями высоты и направления. Для дополнительной продольной стабилизации и управления сходящим с крыла потоком был установлен управляемый закрылок. Первая модель была названа «ГАЦ-1».

В ходе испытания ГАЦ 1 была выявлена низкая поперечная и продольная устойчивость. Для повышения последней, прямо на испытаниях центровка аппарата перемещалась вперёд путём установки дополнительных аккумуляторов в носовой отсек. В итоге был сделан вывод, что для достижения достаточного уровня продольной устойчивости «ГАЦ-1» необходимо установить в носовой отсек такую массу, которая практически лишала бы аппарат своей целесообразности с точки зрения полезной нагрузки.

Было принято решение об увеличении хорды крыла до 800 мм.

Доработанная модель «ГАЦ-2» проявила большую продольную устойчивость при меньшем весе балансирующего груза в носовом отсеке. Также внимания заслужила более точная настройка закрылка, отклоняющего поток с конца основного крыла. Наибольшая продольная устойчивость была достигнута при отклонении закрылка на 1-2 градуса кверху относительно горизонтальной плоскости (придание S-образности основному профилю).

Однако, удержание, как первого, так и второго варианта модели в «экранном» режиме осуществлялось посредством активного управления.



Рисунок 1 – Слева «ГАЦ-1», в центре «ГАЦ-2», справа «ГАЦ 3»

Для изучения средств стабилизации и тестирования других вариантов компоновок была построена модель «ГАЦ-3» по схеме приближённая к схеме аппаратов X-112 [3], Airfish-8 [4], WingShip-500 [5]. Основа этих аппаратов - обратно-дельтовидное крыло с отрицательным «V», большим установочным углом, дополнительными консолями для стабилизации и управления по крену и с вынесенным далеко вверх и назад хвостовым оперением.

На испытаниях «ГАЦ-3» показал большую стабильность по тангажу и крену, однако тенденция с уходом с «экранного» режима хоть и уменьшилась, но оставила невозможным полную стабилизацию аппарата на целевом режиме без вмешательства в управление.

Следующие модели для более детальной проработки сначала строились в виртуальной среде программы SolidWorks.

В основу виртуальных моделей легла тандемная компоновка двух практически равных несущих крыла. По подобной схеме создавались немецкий аппараты серии «flairboat» [6]. В ходе разработки, модели (с четвёртой по восьмую) после каждой виртуальной продувки претерпевали значительные конструктивные изменения, связанные с подбором различных углов атаки, размеров корневых и концевых хорд и размахов каждого крыла.

Основной целью являлось создание такой модели, при виртуальной обдувке которой в режиме околоземного полёта было достигнуто относительно одинаковое значение подъёмной силы на переднем и заднем крыле. Также изменения

схем моделей были связаны с установкой двигателей, повышением эффективности использования потоков воздуха, уходящих из-под крыла через бока, и с переработкой геометрии фюзеляжа для обеспечения большей вместимости.

Модель «ГАЦ-8» значительно отличалась от первой виртуальной модели, стабильно демон-

стрировала равномерное распределение подъёмной силы между крыльями, при этом сохраняя ламинарное обтекание всех частей.

После проведения виртуального исследования была собрана аналогичная радиоуправляемая модель, которая в ходе дальнейших испытаний подверглась ряду доработок.

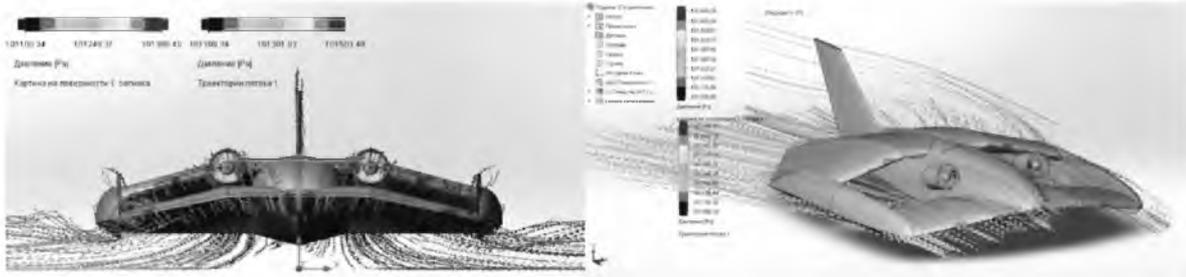


Рисунок 2 – Виртуальная модель в ходе виртуальных исследований

В первом варианте радиоуправляемой модели органами управления по тангажу и рысканью служили элевоны, установленные в заднем крыле, а для управления моделью по рысканью была настроена система раздельного управления двумя импеллерными двигателями.

Первые испытания модели сразу выявили недостаточную устойчивость и управляемость по рысканью, которые не позволяли удержать модель на курсе и проводить испытания на расчётном режиме. Была предпринята попытка добавить 2 дополнительных килей.

На вторых испытаниях выяснилось, что неустойчивость возникает не в связи с нехваткой плоскостей килей, а в связи с запозданием изме-

нения оборотов двигателей, что приводит к задержке между управляющим сигналом и реакцией модели. Было принято решение установить 2 килей с установленными в них рулями направления, а систему раздельного управления двигателями перенести на отдельный подключаемый канал для использования при необходимости разворота модели на месте или маневрирования на малых скоростях. Также двигатели были подняты выше, для увеличения обдува килей и рулей направления.

В ходе испытаний третьей версии радиоуправляемой модели «ГАЦ-8» в при очередном разбеге проявилась низкая управляемость и стабилизация модели по тангажу и крену.



Рисунок 3 - Панорама движения модели в третьей серии испытаний

В результате модель оторвалась от экрана, набрала высоту, а затем резко спикировала. После третьей серии испытаний оказались повреждёнными оба импеллерных двигателя.

Для продолжения испытаний модели были ликвидированы элевоны, импеллеры были заменены на пропеллерные двигатели, передние крылья удлинены для установки флаперонов, а на задней кромке заднего крыла был установлен руль высоты, отклонённый книзу для продолжения верхней плоскости профиля.

В ходе четвёртой серии испытаний было сделано около 50 запусков, в ходе которых производился поиск оптимального размещения центра тяжести и настройка органов управления. Для устойчивого движения на экране требовалась точная настройка углов отклонения и нейтральных положений руля высоты и флаперонов, а также тонкая настройка углов их отклонения в ходе управления. Так как при недостаточном отклике на команды, модель переходила в неуправляемое кабрирование, а при увеличенных углах модель выходила из кабрирования, но затем управлялась слишком резко.



Рисунок 4 – Панорамы движения модели, уходящей с расчётного режима

При перемещении же центра тяжести вперёд модель совсем переставала отрываться от поверхности, поэтому была настроена такая центровка, при которой модель отрывалась от поверхности, но минимально кабрировала, а нейтральное положение и углы отклонения рулей были настроены так, чтобы модель шла настолько стабильно, насколько это было возможно.

После настройки в ряде случаев модель неустойчиво двигалась на экране с попеременными касаниями и отрывами от поверхности.

И всё-таки в нескольких попытках при своевременном управляющем воздействии и оптимальных нейтральных положениях органов управления и оптимальных оборотах двигателя модель выходила на экран и устойчиво двигалась на нём до конца имеющегося испытательного пространства.

При движении на скорости ниже скорости отрыва от поверхности, модель шла практически без сопротивления, что проявлялось длительным скольжением по поверхности даже после выключения двигателей. Однако движение без отрыва от поверхности в реальных условиях возможно только на идеально ровном озере или реке. А при отрыве модели от поверхности в ряде запусков всё-таки было получено подтверждение расчётных в виртуальной среде данных – модель действительно способна двигаться на экране, однако было также выяснено, что в задуманном режиме модель идёт очень нестабильно и при возникающих возмущающих воздействиях либо опускается на плоскость, либо уходит выше расчётной высоты.



Рисунок 5 - Панорама движения модели, длительно движущейся на экране

В будущем исследовании планируется проведение общего сравнительного анализа всех построенных аппаратов и принятие одного из решений: либо дорабатывать одну и испробованных компоновок, либо пробовать новые виды компоновок, либо применять электронную систему стабилизации.

Литература

1. Шилов К.Е. Разработка системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа ([https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-](https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-avtomaticheskogo-upravleniya-bespilotnym-letatelnyim-apparatom-multirrotornogo-tipa)

- avtomaticheskogo-upravleniya-bespilotnym-letatelnyim-apparatom-multirrotornogo-tipa)
2. Delfi.ru//Архив новостного портала/ Первый официальный полет реактивного ранца (<https://ru.delfi.lt/archive/print.php?id=69523804>)
3. Белавин Н. И. Экранопланы. – Л.: Судостроение, 1977. – 232 с.
4. AirFish 8// Сайт сингапурских разработчиков экранопланов (<http://www.wigetworks.com/airfish-8/>)
5. WingShip 500// Сайт корейских разработчиков экранопланов (<http://www.wingship.com>)
6. Tandem W.I.G. Craft // сайт немецких разработчиков экранопланов. (<http://www.airfoil.de/>).