

УДК 629.7.038

Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-2-355-363

Для цитирования: Прохоров В. В., Оборин Л. А., Мельников В. П. Применение крыльчатых движителей цилиндрического вида в авиационной технике // Сибирский аэрокосмический журнал. 2023. Т. 24, № 2. С. 355–363. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-2-355-363.

For citation: Prokhorov V. V., Oborin L. A., Melnikov V. P. [The use of cylindrical wing propellers in aviation technology]. *Siberian Aerospace Journal*. 2023, Vol. 24, No. 2, P. 355–363. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-2-355-363.

Применение крыльчатых движителей цилиндрического вида в авиационной технике

В. В. Прохоров^{1*}, Л. А. Оборин¹, В. П. Мельников²

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский Рабочий», 31

²Научно-исследовательская группа «Арей»
Российская Федерация, 660079, г. Красноярск, ул. Свердловская, 15
E-mail: prohorov.victor@yandex.ru

В программных документах, где описаны национальные цели развития Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом до 2025 г., заявлено, что одними из основных государственных целей является расширение доступа населения к безопасным и качественным транспортным услугам, повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий и мобильности населения. Для решения поставленных государственных задач предлагается использовать авиационную технику нового поколения на основе крыльчатых движителей цилиндрического вида. В статье рассматриваются результаты проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по нескольким размерностям крыльчатых движителей цилиндрического вида. Полученные в результате материальные объекты позволяют провести весь объем их исследований и заложить основу теории и практики работы крыльчатых движителей цилиндрического вида. Заложено понимание роли геометрических соотношений элементов ротора и числа лопастей. Определены пределы регулирования углов атаки и отклонения вектора тяги. Сформировались прочностные требования к конструкции и жесткости частей крыльчатого движителя цилиндрического вида. Сформировалось решение кинематических механизмов управления углами атаки лопастей и закрылками, а также вектором тяги в целом. Предложен концептуальный образ двухместного летательного аппарата, использующего крыльчатые движители цилиндрического вида. На основе проведенных стендовых испытаний крыльчатого движителя цилиндрического вида были сформированы тактико-технические требования, предъявляемые к двухместному летательному аппарату, использующему данные движители. Были сделаны выводы о необходимости проведения дополнительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по изучению влияния друг на друга нескольких работающих роторов летательного аппарата. Заявлено о необходимости оптимизации габаритных размеров самих цилиндрических роторов. Предлагается проводить дальнейшие исследования для определения конструкционных решений по перспективным летательным аппаратам большей грузоподъемности и вместимости.

Ключевые слова: авиационное транспортное средство, крыльчатые движители цилиндрического вида.

The use of cylindrical wing propellers in aviation technology

V. V. Prokhorov^{1*}, L. A. Oborin, V. P. Melnikov²

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

²Scientific Research Group "Arey"
15, Sverdlovskaya St., Krasnoyarsk, 660079, Russian Federation

*E-mail: prohorov.victor@yandex.ru

In the program documents, which describe the national development goals of the Russian Federation until 2030 with a forecast until 2025, it is stated that one of the main state goals is to expand public access to safe and high-quality transport services, increase spatial connectivity and transport accessibility of territories and mobility of the population, etc. To solve the state tasks, it is proposed to use new aviation equipment generations based on cylindrical wing propellers. The article discusses the results of research and development work on several dimensions of cylindrical wing propellers. The results obtained allow us to lay the foundation for the theory and practice of operation of cylindrical wing propellers. The understanding of the role of the geometric relations of the rotor elements and the number of blades is laid. The limits of regulation of the angles of attack and deflection of the thrust vector are determined. Strength requirements have been formed for the design and rigidity of the parts of the cylindrical-shaped impeller. The solution of kinematic mechanisms for controlling the angles of attack of the blades and flaps, and the thrust vector in general, etc. was formed. A conceptual image of a two-seat aircraft using cylindrical wing propellers is proposed. Based on the conducted bench tests of a cylindrical-type winged propulsor, tactical and technical requirements for a two-seat local aircraft using these propellers were formed. Conclusions were drawn about the need for additional research and development work to study the influence of several working aircraft rotors on each other. It is stated that it is necessary to optimize the overall dimensions of the cylindrical rotors themselves, etc. It is proposed to conduct further research to determine structural solutions for promising aircraft of greater payload and capacity.

Keywords: aircraft vehicle, cylindrical wing propellers.

Введение

В Указах Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г.», «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации», а также в «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г.» и ряде других программных нормативных документах были поставлены государственные задачи, связанные с развитием транспортной отрасли в российском государстве, в том числе: расширение доступа к безопасным и качественным транспортным услугам с минимальным воздействием на окружающую среду и климат, повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий и мобильности населения, укрепление достигнутых Российской Федерацией лидирующих позиций и конкурентных преимуществ в авиационной промышленности, а также ряд других важнейших задач. Для решения поставленных государственных задач необходимо использовать все передовые технические достижения, в том числе и в авиастроении. В этой связи представляет определенный интерес развития авиационной техники нового поколения (авиатранспортной техники вертикального взлета и посадки) на основе использования в летательных аппаратах крыльчатых движителей цилиндрического вида [1–3].

В этой связи необходимо уточнить, что все известные аэродинамические движители можно условно подразделить на две группы, в том числе дисковые и цилиндрические. В дисковых аэродинамических движителях рабочие органы (лопасти) движутся в плоскости перпендикулярной оси вращения, а в цилиндрических – рабочие органы описывают цилиндрическую траекторию параллельную оси вращения. К первой группе относится воздушный винт (применяется в само-

летах), несущий винт (в вертолетах), осевая турбина (турбореактивные двигатели). Наиболее известными среди цилиндрических движителей являются ротор Савониуса (использует эффект Магнуса), ротор Дарье (тип турбины низкого давления), также крыльчатые движители [4; 5].

Предложения по решению задачи

В целом крыльчатый движитель представляет собой устройство по созданию подъемной и тяговой сил летательного аппарата. Он конструктивно выглядит как цилиндрический ротор, по окружности которого на равных угловых расстояниях расположены крылообразные лопасти, которые совершают круговые движения вместе с ротором и колебательные движения вокруг собственных осей, лежащих на цилиндрической поверхности ротора. Сами колебательные движения лопастей по циклу вращения ротора задаются эксцентриковым механизмом и передаются системой управления (рис. 1). Вращение ротора приводится внешним двигателем [6].

Сама идея крыльчатого движителя была предложена еще в 1681 г. английским изобретателем Робертом Гуком. К практической реализации использования крыльчатого движителя цилиндрического вида в авиастроении приступили только в начале XX в. В частности, были спроектированы и частично испытаны такие авиационные конструкции, как летательный аппарат инженера Страндгрена, летательный аппарат «Сайклоджайро» (автор Е. А. Шредер), цикложир Хэвиленда Платта, цикложир Джона Б. Уитли; цикложир А. Рорбаха, циклоплан Фредерика К. Кирстена и ряд других летательных аппаратов [6–8].

В настоящее время научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) по использованию крыльчатых движителей цилиндрического вида в авиастроении проводятся как в Российской Федерации, так и за рубежом, в том числе в Европейском Союзе, Республике Южная Корея, США, Китайской Народной Республике, Израиле и ряде других стран мира. На основе проводимых работ были спроектированы и испытаны ряд прототипов летательных аппаратов, которые используют крыльчатые движители.

При этом определенного успеха добилась австрийская компания IAT21, которая в 2012 г. испытала летательный аппарат с дизельным двигателем общей массой в 200 кг и грузоподъемностью 100 кг [9].

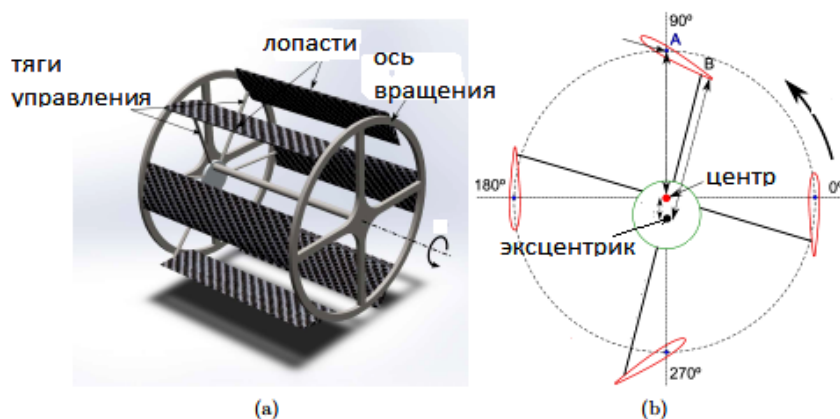


Рис. 1. Устройство крыльчатого движителя (а) и схема его работы (б)

Fig. 1. The device of the impeller drive (a) and the scheme of its operation (b)

В Российской Федерации работы по созданию летательного аппарата на основе использования крыльчатых движителей цилиндрического вида ведут такие организации, как Фонд перспективных исследований (начало работ – 2017 г.) и научно-исследовательская группа «Арей» (начало работ – 2002 г.). Так как деятельность Фонда перспективных исследований является в определенной степени закрытой, то в данном исследовании будет использоваться информация научно-исследовательской группы «Арей», которая была получена в ходе проведения НИОКР [10].

Параметры крыльчатого движителя цилиндрического вида

Для определения оптимальной размерности, как крыльчатого движителя цилиндрического вида, так и самого летательного аппарата, НИОКР проводился на условиях постепенного увеличения размерности крыльчатого движителя. Первоначально рассматривался крыльчатый движитель цилиндрического вида диаметром 0,15 м и длиной 0,18 м. В процессе исследования рассматривались разные профили, включая вихревой ступенчатый, сочетания разного количества лопастей, углов атаки, скоростей вращения [6; 11].

На следующем этапе проектирования крыльчатого движителя цилиндрического вида его диаметр был увеличен до 0,5 м. В процессе НИОКР рассматривались лопасти с изменяемой кривизной профиля. Данные исследования заложили основу теории и практики работы крыльчатых движителей. К ним можно отнести понимание роли геометрических соотношений элементов ротора и числа лопастей. Были определены пределы регулирования углов атаки и отклонения вектора тяги. Появилось понимание прочностных требований к конструкции и жесткости её частей. Сложилось виденье решений кинематических механизмов управления углами атаки лопастей и закрылками, вектором тяги в целом и т. д. Все это в целом дало определенную возможность конструирования летательных аппаратов различной размерности, использующих крыльчатый движитель, в том числе от беспилотного варианта до перевозки нескольких десятков пассажиров на значительные расстояния [6; 11].

Определенным этапом в проектировании крыльчатого движителя цилиндрического вида стал движитель с диаметром 0,78 м с шестью лопастями и их длиной в 0,85 м. Площадь поверхности цилиндра составила 2 м^2 с общим весом ротора в 15 кг и мощностью 9 кВт. Обороты крыльчатого движителя составили 1400 об/мин. Расчетная тяга с ротора достигла 50 кг, а удельная тяга с мощности – 6 кг/кВт. Хорда лопасти составила 0,12 м; профиль – 18 %; тяга, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения, – 75 кг/м^2 ; безразмерный коэффициент C_p , приведенный к площади цилиндра ротора, – 0,13 (рис. 2) [6; 11].

В крыльчатом движителе цилиндрического вида с диаметром цилиндра 0,78 м предусмотрены следующие элементы и механизмы управления: встроенный автомат циклического изменения геометрических углов атаки лопастей; управление приводом изменения общего угла атаки лопастей; управление вектором тяги; автоматическое управление кривизной профиля лопастей [6; 11].



Рис. 2. Крыльчатый движитель цилиндрического вида с диаметром цилиндра 0,78 м

Fig. 2. Cylindrical-type impeller with a cylinder diameter of 0.78 m

Полученные на стенде величины параметров исследуемого крыльчатого двигателя цилиндрического вида по комплексу показателей превосходят характеристики изделий других исследовательских групп (табл. 1) [6; 11]. В таблице приведены характеристики и параметры дисковых и цилиндрических устройств, позволяющие сделать вывод о том, что крыльчатые двигатели цилиндрического вида по основным параметрам не уступают дисковым устройствам. При этом испытываемые конструкции моделей летательных аппаратов с несущими крыльчатыми двигателями цилиндрического вида демонстрируют выполнение необходимых летных требований, предъявляемых к авиатранспортному средству вертикального взлета и посадки.

На основе проведенного математического моделирования возможностей перспективного авиатранспортного средства можно уже сейчас сделать вывод о том, что по ряду ключевых параметров он превосходит схожие с ним по компоновке мультикоптеры. В частности, при одинаковых габаритах и взлетной массе перспективному авиатранспортному средству требуется меньшая мощность двигателя при почти вдвое большей грузоподъемности [6; 11].

Таблица 1

Характеристики и параметры дисковых и цилиндрических устройств

Тип устройства	Характеристика устройств		Тяговые параметры устройств	
	Габарит, размеры, м	Потребляемая мощность, кВт	Нагрузка на ометаемую площадь, кг/м ² (потребительские свойства)	Удельная тяга, кг/кВт (энергетическая эффективность)
Дисковые устройства				
Несущий винт (соосный)	D 7,2	73,5	17,7	9,7
Тяговый винт	D 1,8	48,0	75,0	3,75
Цилиндрические устройства				
Крыльчатый двигатель (Корея)	0,5×0,5	0,55	16,8	7,7
	1×1,7	23,5	16,8	6,3
Крыльчатый двигатель (Австрия)	1,2×1,2	70,0	142,0	2,9 (2016 г.)
Крыльчатый двигатель (Россия, Красноярск)	0,85×0,78	5,2	30,0	5,8

В техническом задании на проектирование крыльчатых двигателей цилиндрического вида и летательных аппаратов, их использующих, заложены определенные требования к материалам. Планируется, что основным конструкционным материалом будут алюминиевые сплавы до 73 % от общего веса. На легированные стали будет приходиться до 11 %, на композитные материалы – до 4 %, прочие конструктивные материалы – до 12 %. Фактический отказ от массового использования композитных материалов связан с проблемой их дальнейшей утилизации. Поэтому в качестве наиболее перспективного материала, в том числе и с точки зрения экологии, решили использовать алюминиевые сплавы. Проблем с их утилизацией нет. При этом энергозатраты при получении готового металла при рециклинге алюминиевых конструкционных элементов составляют около 20 ГДж/т (энергозатраты на получение первичного алюминия составляют 174 ГДж/т) [6].

В целом энергетическая эффективность самого крыльчатого двигателя цилиндрического вида будет определяться подбором геометрических и аэродинамических параметров лопасти, в том числе самих профилей и их характеристик, размерности, способности адаптировать кривизну по циклу вращения и т. д., а также использованием оптимального закона колебания лопастей, реализуемого с помощью адекватного механизма, дифференциально задающего углы атаки лопастей по циклу вращения.

Сами крыльчатые двигатели должны снабжаться устройствами подстройки углов колебания лопастей на изменение параметров набегающей среды. В свою очередь, управление движением летательного аппарата будет обеспечиваться эксцентриковым механизмом, который позволяет менять направление векторов тяги роторов.

Конструктивно в крыльчатом движителе формируется вектор тяги поперек оси вращения, что позволяет создавать силу тяги в любом необходимом направлении, изменяя ее от 0 до 360°. Данная конструктивная особенность обеспечивает вертикальный взлет и посадку летательному аппарату, а также переход на горизонтальное движение с плавным набором или снижением высоты. А в горизонтальном полете дает возможность без разворота переходить из движения вперед на движение назад, а также на зависание и вращение [6].

Концептуальный образ летательного аппарата

В процессе проведения НИОКР научно-исследовательской группой «Арей» был предложен концептуальный образ двухместного летательного аппарата, использующего крыльчатые движители. Он получил название «Циклолет». Авиатранспортное средство имеет трехроторную аэродинамическую схему. Между двумя передними цилиндрическими роторами расположена капсула-кабина. Третий цилиндрический ротор находится в кормовой части капсулы-кабины. Авиатранспортное средство имеет ползковое шасси. Управление эволюциями аппарата обеспечивается эксцентриковым механизмом, изменяющим направление векторов тяги цилиндрических роторов (рис. 3), и изменением частоты вращения оборотов роторов [6; 12].

В процессе проведения НИОКР по разработке перспективного летательного аппарата типа «Циклолет» были выявлены преимущества перед классическими вертолетами, в том числе малозаметность, малозаметность, маневренность, высокие удельные характеристики, возможность причаливания к вертикальным и наклонным поверхностям, многозадачность и многофункциональность, всепогодность, возможность эксплуатации в сложных горных и городских условиях, компактность, безопасность, защищенность [6; 12].

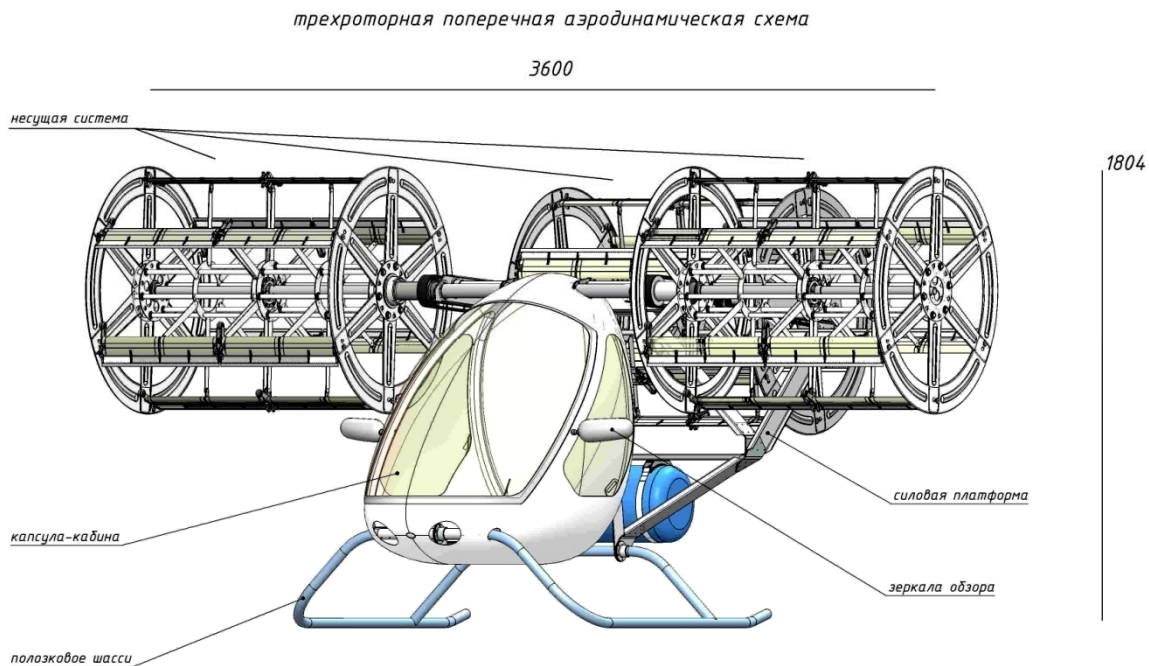


Рис. 3. Двухместное авиатранспортное средство типа «Циклолет» на основе крыльчатых движителей цилиндрического вида

Fig. 3. A two-seat air transport vehicle of the Cyclolet type based on cylindrical wing propellers

Кроме того, при проведении стендовых испытаний крыльчатого движителя цилиндрического вида были сформированы технические требования, которые позволили сформировать следующие тактико-технические требования к 2-местному летательному аппарату, использующему данные движители (табл. 2).

Таблица 2

Тактико-технические требования, предъявляемые к 2-местному авиатранспортному средству типа «Циклолет»

№	Показатели	Значения показателя
1	Взлет и посадка	Вертикальная
2	Диапазон скоростей	от 0 до 200 км/ч
3	Скороподъемность	до 10 м/с
4	Необходимые перемещения	Вперед-назад, вверх-вниз, вращение на месте в плоскости горизонта в обе стороны, режим висения
5	Устойчивость и способность управляться при скорости ветра	до 20 м/с
6	Отклонение по любой координате при внешнем возмущении среды	не более 1 м
7	Расход горюче-смазочных материалов при максимальной взлетной массе	не более 12–15 л/ч
8	Ресурс (общий)	до 5000 ч
9	Наработка на отказ основных элементов	до 2000 ч

Заключение

Вышеприведенные основные характеристики авиатранспортного средства «Циклолет» не являются окончательными. Необходимы дополнительные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. В частности, не полностью еще изучены влияние друг на друга нескольких (3-х, 4-х, 6-ти и более) работающих роторов. При увеличении их количества в летательном аппарате тактико-технические характеристики будут изменяться. Кроме того, необходимо оптимизировать габаритные размеры самих роторов как по длине, так и по диаметру, определить их размерный ряд и т. д. [13; 14].

Для проведения дополнительных НИОКР необходимы финансовые ресурсы и время. Поэтому при проведении НИОКР следует объединить усилия государства, заинтересованного в результатах данного проекта, и специалистов, работающих в данной области. Это позволит более эффективно проводить работы в данном направлении.

В целом полученные тактико-технические характеристики летательного аппарата вертикального взлета-посадки типа «Циклолет» с несущей и тяговой системой на основе крыльчатых движителей позволяют сделать вывод о том, что данное направление развития авиационной техники является достаточно перспективным. Работы в данном направлении позволяют развивать в Российской Федерации перспективные высокие технологии, а также вести подготовку научных и научно-педагогических кадров и высококвалифицированных специалистов в авиационной отрасли.

Крыльчатый движитель является обратимым устройством. Он может работать в качестве двигателя, утилизирующего энергию текучей среды (потока воды или воздуха) для преобразования ее в электрическую или механическую энергию. Все это позволяет говорить о возможности организации на базе использования крыльчатых движителей не только высокотехнологичных производств, но и новых отраслей экономики, формирующих рынки товаров и услуг на основе перспективных высоких технологий [15].

Библиографические ссылки

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: указ Президента РФ от 21.07.2020 № 474. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: //www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357927/?ysclid=lclob5o3im371482433/ (дата обращения: 30.12.2022).

2. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]: указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: // www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/?ysclid=lclokqrqgk622531127/ (дата обращения: 30.12.2022).

3. О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402052/?ysclid=lcloowqhz7389721149/ (дата обращения: 30.12.2022).

4. Гусева Ю. В., Кострюков С. А., Васильев А. Р. Лабораторная модель ротора Савониуса // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 3. С. 83–90.

5. Аскарров Е. С. Исследование технологичности и работоспособности конструкции ветровой энергетической установки с неподвижной вертикальной осью ротора // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2019. № 3 (110). С. 65–73.

6. Крыльчатые движители как основа авиатранспортной техники новых возможностей. От авиатранспортного средства к транспортной среде: монография / Л. А. Оборин, В. В. Прохоров, В. П. Мельников и др. ; под науч. ред. Л. В. Оборина. Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева ; Сиб. фед. ун-т, 2022. 180 с.

7. Ротоплан [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rotoplan.narod.ru/history.htm> (дата обращения: 13.01.2022).

8. Цикложир: что это такое и почему не летает [Электронный ресурс] // Популярная механика. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/10975-neletatelnyy-apparat-tsiklozhir/> (дата обращения: 10.12.2022).

9. Воронин Д. D-Dalus – летательный аппарат нового поколения [Электронный ресурс]. URL: <https://craftster.ru/technologies/d-dalus-letatelnyj-apparat-novogo-pokolenija/> (дата обращения: 03.12.2022).

10. Программа разработки циклолётов «Циклон». Новая реализация старой идеи [Электронный ресурс] // Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/184287-programma-razrabotki-cikloletov-ciklon-novaja-realizacija-staroj-idei.html>? (дата обращения: 14.12.2022).

11. Группа «Арей» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arey-group.ru> (дата обращения: 01.12.2022).

12. Прохоров В. В. Авиатранспортное средство новых возможностей // Решетневские чтения : материалы XXVI Междунар. науч.-практич. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2022. С. 46–49.

13. Оборин Л. А., Прохоров В. В. Новый подход по развитию транспортной системы городов // Экономика и управление в современных условиях : сб. материалов Международ. науч.-практич. конф. (Красноярск, 19 октября 2022 года), Красноярск, 2022. С.120–123.

14. Investigation of the effects of end faces design on parameters of cycloidal rotor / A. A. Dekterev, A. A. Dekterev, D. A. Dekterev, Y. N. Goryunov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1105. 2018. No. 012029. P. 1–4. Doi :10.1088/1742-6596/1105/1/012029.

15. Сарченко В. И., Оборин Л. А., Прохоров В. В. Инженерное дело как основа устойчивого развития национальной экономики: монография / СибГУ им. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2021. 280 с.

References

1. *O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g. : ukaz Prezidenta RF ot 21.07.2020 N 474. Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy "Konsul'tantPlyus"* [On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 : Decree of the President of the Russian Federation of July 21, 2020 N 474. Access from the reference legal system "ConsultantPlus"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_357927/?ysclid=lclob5o3im371482433/ (accessed 30.12.2022).

2. *O Strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii: ukaz Prezidenta RF ot 02.07.2021 N 400. Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy "Konsul'tantPlyus"* [On the National Security Strategy of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of 02.07.2021 № 400. Access from the ConsultantPlus legal reference system.]. Available at: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/?ysclid=lclokqrqgk622531127/ (accessed 30.12.2022).

3. *O Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 g. s prognozom na period do 2035 g.: rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27.11.2021 № 3363-r. Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy*

“Konsul'tantPlyus” [On the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation of November 27, 2021 № 3363-r. Access from the reference-legal system ConsultantPlus]. Available at: [//www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402052/?ysclid=lcloowqhz7389721149/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402052/?ysclid=lcloowqhz7389721149/) (accessed 30.12.2022).

4. Guseva Yu. V., Kostryukov S. A., Vasil'ev A. R. [Laboratory model of the Savonius rotor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. problemy energetiki*. 2022, Vol. 24, No. 3, P. 83–90 (In Russ.).

5. Askarov E. S. [Study of the manufacturability and performance of the design of a wind power plant with a fixed vertical axis of the rotor]. *Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpaeva*. 2019, No. 3 (110), P. 65–73 (In Russ.).

6. Oborin L. A., Prokhorov V. V., Mel'nikov V. P. et al. *Kryl'chatye dvizhiteli kak osnova aviatransportnoy tekhniki novykh vozmozhnostey. Ot aviatransportnogo sredstva k transportnoy srede* [Vane propellers as the basis of air transport technology of new opportunities. From an air vehicle to a transport environment: a monograph]. Krasnoyarsk, 2022, 180 p.

7. *Rotoplan* [Rotoplan]. Available at: <https://www.rotoplan.narod.ru/history.htm> (accessed 13.01.2022).

8. [Cyclogyro: what is it and why does it not fly]. *Populyarnaya mekhanika*. Available at: <https://www.popmech.ru/technologies/10975-neletatelnyy-apparat-tsiklozhir/> (accessed 10.12.2022).

9. Voronin D. *D-Dalus – letatel'nyy apparat novogo pokoleniya* [D-Dalus – a new generation aircraft]. Available at: <https://craftster.ru/technologies/d-dalus-letatelnyj-apparat-novogo-pokolenija/> (accessed 03.12.2022).

10. [Cyclone development program Cyclone. New implementation of the old idea]. *Voенное obozrenie*. Available at: <https://topwar.ru/184287-programma-razrabotki-cikloletov-ciklon-novaja-realizaciya-staroj-idei.html?> (accessed 14.12.2022).

11. *Gruppa Arey* [Group Arey]. Available at: <https://www.arey-group.ru> (accessed 01.12.2022).

12. Prokhorov V. V. [Aircraft of new opportunities]. *Sbornik XXVI Mezhdunarodnuyu nauchno-prakticheskuyu konferentsiyu “Reshetnevskie chteniya”* [Materials of the XXVI International scientific-practical. conf. Reshetnev readings]. Krasnoyarsk, 2022, P. 46–49 (In Russ.).

13. Oborin L. A., Prokhorov V. V. [A new approach to the development of the transport system of cities]. *Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy Konferentsii “Ekonomika i upravlenie v sovremennykh usloviyakh”* [Coll. materials International. scientific-practical. conf. Economics and management in modern conditions]. Krasnoyarsk, 2022, P. 120–123 (In Russ.).

14. Dekterev A. A., Dekterev A. A., Dekterev D. A., Goryunov Y. N. Investigation of the effects of end faces design on parameters of cycloidal rotor. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1105*. 2018, No. 012029, P. 1–4. Doi: 10.1088/1742-6596/1105/1/012029.

15. Sarchenko V. I., Oborin L. A., Prokhorov V. V. *Inzhenernoe delo kak osnova ustoychivogo razvitiya natsional'noy ekonomiki* [Engineering as a basis for sustainable development of the national economy: monograph]. Krasnoyarsk, 2021, 280 p.

© Прохоров В. В., Оборин Л. А., В. П. Мельников В. П., 2023

Прохоров Виктор Владимирович – кандидат экономических наук, доцент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: prohorov.victor@yandex.ru.

Оборин Лев Александрович – доктор технических наук, профессор; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: lev.oborin.47@mail.ru.

Мельников Виктор Петрович – главный конструктор; научно-исследовательская группа «Арей». E-mail: krilch@yandex.ru.

Prokhorov Viktor Vladimirovich – Cand. Sc., Associate Professor; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: prohorov.victor@yandex.ru.

Oborin Lev Aleksandrovich – Dr. Sc., Professor; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. E-mail: lev.oborin.47@mail.ru.

Melnikov Viktor Petrovich – Chief Designer; Ares Research Group. E-mail: krilch@yandex.ru.
