

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЩЕГО ВИДА И КАРКАСА АВТОЖИРА С ПРЫЖКОВЫМ ВЗЛЕТОМ «НИКА-2»

В.Г. Гимазов, выпускник Пермского авиационного техникума им. А.Д. Швецова

А.Д. Федосеев, студент группы АД-08-1, Пермского авиационного техникума им. А.Д. Швецова

И.Б. Солодников, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Куперфлай»

А.Г. Ярусова, заведующая отделением «Производство авиационных двигателей», преподаватель I категории Пермского авиационного техникума им. А.Д. Швецова

Анализируются летательные аппараты разных типов и различной взлетной массы. Исходя из поставленных целей, среди летающих сегодня аппаратов сначала, как наиболее перспективные, выделяются самолеты, вертолеты и автожиры и на основе аэродинамических, массовых и экономических характеристик выбраны автожиры с прыжковым взлетом. Кратко описаны характеристики прыгающего автожира «Ника-2», спроектированного под заданные требования.

Задача создания безопасного и дешевого портативного летательного аппарата (ЛА) индивидуального применения для его массового использования в качестве универсального пассажирского транспортного средства является особенно актуальной для такой страны, как Россия, с

ее огромными пространствами и знаменитым бездорожьем.

Непосредственно в данной работе выполнено проектирование общего вида и каркаса автожира с прыжковым взлетом «Ника-2», проработаны технологические проблемы, вопросы безопасности и экономики производства.

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА (ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРУЕМОМУ ЛЕТАТЕЛЬНОМУ АППАРАТУ)

Поставлена задача создания безопасного в массовом применении дешевого портативного летательного аппарата индивидуального применения для использования его в качестве универсального транспортного средства.

Требования к летательному аппарату:

- а) ранцевый, взлетная масса 125 кг;
- б) масса пилота 80 кг;
- в) рабочая высота полета 150–200 м;
- г) дальность полета до 300 км;
- д) для взлета и посадки достаточно площадки 5×5 м;

- е) скорость полета 35–160 км/ч;
- ж) простой и безопасный (массовое применение);

з) для обучения пилотов одновременно с летательным аппаратом должна быть представлена система тренажеров;

и) приведение аппарата в эксплуатационное состояние одним человеком должно занимать не более 15 минут.

Дополнительные возможности:

- а) для эксплуатации в северных широтах необходимо предусмотреть антиобледенительную систему и теплую кабину;

б) для аварийной посадки на воду предусмотреть автоматически надуваемый плот;

в) для аварийной транспортировки на подвеске второго человека должна быть предусмотрена аварийная лебедка.

СРАВНЕНИЕ АНАЛОГОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ЗАДАНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ

Аппараты, которые в силу высокой зависимости от погодных условий мало подходят для использования их в качестве спасательного транспортного средства, были сразу исключены из рассмотрения. К таковым были отнесены аппараты легче воздуха, безмоторные летательные аппараты, аппараты, имеющие большие геометрические размеры и малую скорость. В качестве основных базовых схем летательных аппаратов при работе с заданными требованиями рассматривались вертолетная, самолетная и автожирная схемы. Дельталеты были отнесены к самолетам (как самолеты, выполненные по схеме «летающее крыло»). При этом самолеты и автожиры, взлетающие с разбегом, не могли быть использованы непосредственно, но летательные аппараты, взлетающие и садящиеся вертикально, имеющие в качестве маршевого самолетный или автожирный режим, могли подойти под заданные требования.

«Наиболее простая конструкция вертолета получается при установке реактивных двигателей на концах лопастей. Для этой цели могут быть использованы ракетные двигатели, прямоточные или пульсирующие воздушно-реактивные и, наконец, турбореактивные двигатели. Благодаря тому, что силовая установка размещается непосредственно на несущем винте, упрощается конструкция вертолета и весь объем фюзеляжа может быть использован как кабина для пассажиров или для грузов. Весовая отдача у реактивных вертолетов с двигателями на концах лопастей составляет 60–65 %, т.е. почти вдвое больше, чем у вертолетов с механическим приводом. Простота конструкции компенсируется у таких вертолетов огромным расходом топлива, поэтому они эффективны лишь при полетах на короткие расстояния» [6, с. 78].

Использование вертолетной схемы не-

возможно. Заданные совместно уровни полезной нагрузки и дальности полета намного превышают расчетные показатели всех известных вертолетных схем. Много вариантов реализованных конструкций ранцевых вертолетов [3] или близких к ним по взлетной массе, также имеют характеристики, весьма далекие от заданных требований.

С 30-х годов двадцатого века используются машины, трансформируемые во время полета. Наиболее известен среди них Ospry V-22, затраты на создание которого уже превзошли 50 млрд долларов. К сожалению, эта схема опасна, т.к. скорость сваливания в самолетном режиме очень сложно уменьшить до скорости полета в вертолетном режиме, т.е. до скорости 260 км/ч, поэтому при испытаниях аппарата погибло более 20 солдат.

Автожирная схема в маршевом полете обладает максимальной устойчивостью по сравнению с самолетом и вертолетом аналогичной взлетной массы и при хорошо проработанной конструкции обеспечивает наибольшую безопасность и простоту в массовом применении. Она позволяет достичь более высоких скоростей полета, чем вертолетная схема, однако максимальные самолетные скорости полета для автожирной схемы явно недостижимы.

О комбинированных вертолетах сказано следующее: «При переходе от вертолетного режима, начиная со скорости полета около 100–150 км, к автожирному потребная мощность по мере увеличения скорости полета уменьшается по сравнению с вертолетным режимом и уже при скорости полета около 250 км/ч становится на 25–30 % меньше потребной мощности на вертолетном режиме. Это объясняется тем, что при больших скоростях полета несущий винт как средство, создающее подъемную силу и горизонтальную

Сравнение ранцевых и сверхлегких летательных аппаратов

Аппарат (производитель)		Дальность полета, км	Мощность двигателя, л.с.	Потребность взлетно-посадочной полосы, м	Цена, тыс. руб.
Самолеты	«Птенец-2» (Россия, Кумертау), призер чемпионата мира-1999	450	64	70	555
	«Урал Р16» (Россия, Кумертау) дельталет	280	50	70	285
Вертолеты	Robinson R. 22 (США), самый распространенный в мире	320	160	–	4400
	GEN-H4 (Япония)	100	70	–	1050
Автожиры	Доминатор (США), мировой рекорд высоты для автожиров	300	75	30	648
	A-002 (Россия, Иркутск)	600	210	–	3750
Ника-2Т		300	27,5	–	500

тягу, менее выгоден по сравнению с обычным крылом и тянущими винтами» [6, с. 106]. «Меньшая потребная мощность при полете комбинированного вертолета на автожирном режиме позволяет получить и меньший расход топлива, поэтому комбинированный вертолет при сравнении с обычным вертолетом наряду с большей скоростью обладает также большей дальностью и продолжительностью полета. Благодаря разгрузке несущего винта крылом и использованию тянущих винтов для создания горизонтальной тяги комбинированный вертолет на автожирном режиме полета может развить скорость 400–500 км/ч» [6, с. 106].

На базе автожира С-1 в 1937 году Хуан де Сьерва создал первый автожир с прыжковым взлетом, и сразу по всему миру появились десятки конструкций, которым взлетно-посадочная полоса была не нужна.

В 2006 году на сайте Carter Aviation Technologies появились ролики с прыжками CGD/T, достигавшими 50 м. Дальнейшее развитие автожиров с прыжковым взлетом компания видит в создании летающих автомобилей, 4–6-местного универсального транспортного средства.

Несмотря на неоднократные попытки, автожиров с прыжковым взлетом Россия пока не имеет. Проект Ника предполагает развитие ранцевых автожиров с прыжковым взлетом как индивидуального транспортного средства. При этом, несмотря на небольшую взлетную массу, эти машины должны обеспечивать безопасность и комфорт в полете, что в северных условиях предполагает наличие теплой кабины и антиобледенительной системы.

Как транспортное средство для массового применения пытаются позиционировать свои 4- и 6-местные летающие автомобили Carter Aviation Technologies (США, Техас) и прыгающий автожир «Ника-2» – ООО «Куперфлай» (Россия, Пермь). Однако, как признают авторы этих конструкций, это еще не транспортные средства, речь может идти лишь о научных исследованиях, целью которых является создание нового универсального транспорта. Свободное перемещение по стране по прямой из точки А в точку Б без объезда лесов, озер, болот и других особенностей рельефа местности, по которым не проложены дороги, сулит людям и государству большие выгоды.

ОГРАНИЧЕНИЯ И НЕДОСТАТКИ

Автожиры первого поколения имели достаточно сложную конструкцию и технологию изготовления. Неудивительно, что они часто ломались и для ремонта требовали хорошего оборудования, качественных материалов и других условий. Пока они были в статусе экспериментальных машин, а время было мирным, на это не обращали внимания. В военное время все изменилось, и невозможность использования автожиров в боевых целях привела к отказу военных от финансирования их дальнейшего развития.

Подавляющее большинство автожиров нуждается во взлетной полосе. При отсутствии системы предварительной раскрутки в безветренную погоду длина разбега может достигать 200 м. Хорошая система раскрутки сокращает это расстояние до 70 м, а встречный ветер более 7 м/с делает возможным взлет с места, без разбега.

Вращающиеся лопасти обеспечивают 90 % сопротивления поступательному движению автожира. Это объясняет, почему расход топлива на скоростях до 200 км/ч у вертолетов и автожиров почти совпадает. Однако на режимах взлета и висения вертолету требуется большая взлетная мощность, и расход топлива на них соответственно вдвое превышает расход топлива на марше, но вертолет находится в этих режимах недолго, и они не оказывают существенного влияния на средние величины расхода топлива. При скорости свыше 200 км/ч экономичность автожирного полета по сравнению с вертолетным режимом быстро нарастает, сказывается меньший угол атаки лопастей автожира. Эта же причина лежит в основе того, что автожирам доступны скорости до 600 км/ч. Самолеты более экономичны, при одинаковой с вертолетом и автожиром взлетной массе на них устанавливается двигатель меньшей мощности. Разница составляет 20–30 %, что неминуемо сказывается на уменьшении эксплуатационных расходов.

Называть автожир спортивной маши-

ной можно только с натяжкой, ведь основное качество спортивной машины – маневренность. Самолет может свечкой уйти в небо, перевернуться, сделать бочку, показать другие пилотажные фигуры, причем все это он делает на высоких скоростях. Вертолет может остановиться в любой точке полета, повисеть и, как муха, изменить траекторию, начать двигаться вверх, вниз, назад, вправо или влево. Кстати, начать движение в новом направлении он может, не меняя положения корпуса. Особенно наглядно движение хвостом вперед. Возможности автожира на этом фоне очень скромны. Горка в 30° для него предел, он не может перевернуться, сделать бочку, зависнуть, лететь хвостом вперед или боком. Правда, он не чувствителен к экрану земли и его легко пилотировать на малых высотах, он может пролетать под мостом. Цельноповоротный киль позволяет ему развернуться на месте, но, все же, следует признать, что по маневренности он значительно уступает самолету и вертолету.

Несмотря на почти столетнюю историю, никому пока не удалось создать автожир со взлетной массой в несколько тонн, хотя вертолеты со взлетной массой от двух до пяти тонн давно занесены в категорию легких. Размеры самолетов еще более разнятся, чем размеры вертолетов, а взлетная масса автожиров так и осталась в пределах от трехсот до полутора тысяч килограммов. При этом гибридные машины с автожирным винтом появлялись и более или менее успешно летали, достаточно вспомнить Ка-22 или Ротондайн. Однако конвертопланы – это другой класс летательных аппаратов.

Очень удобная возможность вертолета – зависнуть в одной точке, и невозможность для автожира повторить этот маневр также может быть отнесена к его недостаткам. В конце 90-х годов появились автожиры с подкруткой несущего винта в полете, однако автожиров, способных на время висения перейти в вертолетный режим, пока нет.

ДОСТОИНСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ

После начального периода развития автожир продолжал на практике доказывать свою высокую безопасность. Например, за 80 лет полетов в России известно только о двух падениях автожиров с человеческими жертвами (2007 год). При этом все автожиры после 1943 года летают в статусе экспериментальных.

Более высокий уровень безопасности автожира по сравнению с вертолетом объясняется тем, что автожир всегда находится в режиме авторотации, а вертолет летчику необходимо мгновенно перевести в этот режим при появлении аварийной ситуации. Если ситуация развивается быстро, то самые быстрые движения пилота могут запоздать. Ряд других причин, делающих автожир в силу его конструктивных особенностей более безопасным, чем самолет и вертолет, будет рассмотрен ниже.

Несущая система автожира обладает высокими адаптивными способностями. Машина летит сама, и пилот лишь иногда должен подправлять ее, наклоня в нужную сторону тюльпан ротора и сразу же возвращая его в исходное положение. На вертолете пилот ни на секунду не может отпустить ручки управления и даже оставить их неподвижными, он постоянно должен подправлять положение машины. На хорошо отрегулированном самолете, которому не надо менять траекторию полета, пилот может на короткое время отпустить ручку. Принципиальное различие заключается в том, что автожир летит сам, самолетом надо рулить, а вертолет пилот удерживает в воздухе лишь постоянным напряжением.

Появление автожиров с прыжковым взлетом избавило их от жесткой привязки к аэродромам. Однако недостаточная высота прыжка, делавшая такой взлет опасным, привела к тому, что появившиеся позже автожиры второго поколения прыгать не могли. Способность прыгать на достаточную для обеспечения безопасности высоту обрели лишь автожиры третьего поколения, появившиеся в двадцать первом веке. Возможность исполь-

зовать для взлета и посадки площадку, соизмеримую с диаметром несущего винта, очень важна. Именно это свойство привело к бурному развитию вертолетов.

Ветер любят все автожиры. Согласно правилам, при ветре более 7 м/с все сверхлегкие летательные аппараты должны находиться на земле. Однако именно такой ветер является достаточным для взлета с места обычного автожира, не имеющего способности к прыжковому взлету. В России многие любители автожиров летают в ветреную погоду, и длительной практикой можно считать доказанным, что различные конструкции автожиров могут летать при ветре до 20 м/с.

Турбулентности боятся вертолеты и легкие самолеты. Ее не любят даже аэробусы, и известны случаи, когда большие самолеты терпели катастрофы, попадая в турбулентные потоки. Крыло самолета движется навстречу воздушному потоку со скоростью машины, а у несущего винта автожира эта скорость возрастает из-за оборотов винта. Чем обороты больше, тем лучше машина переносит порывы ветра и турбулентные потоки. Кстати, обороты несущего винта тем выше, чем короче лопасти. Неожиданно, но самый маленький автожир с мощным мотором будет наиболее устойчив в бурю, хотя машину с небольшой взлетной массой ветер может просто сдувать.

По сложности конструкции автожир проще самолета и вертолета. Требования к точности изготовления деталей, количество деталей – по этим показателям автожир превосходит самолет и вертолет. Втулка несущего винта прыгающего автожира – это упрощенная втулка от вертолета аналогичной взлетной массы. Система раскрутки несущего винта автожира работает только на земле перед взлетом. Современные технологии позволяют упростить ротор и редуктор до сложности крыльев.

Теоретический предел скорости вертолета классической схемы – 400 км/ч, автожира – 600 км/ч. Это связано с тем, что 90 % лобового сопротивления дают лопа-

сти несущего винта. У автожира стандартный полетный угол – 2–4°, а у вертолета от 4° до 6°. Соответственно, срыв потока на вертолетных винтах наступает при меньших скоростях. Правда, можно оговориться, что данных об автожирах, летающих со скоростями более 280 км/ч, не имеется. С другой стороны, это говорит о недостаточном уровне развития конструкций автожиров.

Одним из важнейших экономических показателей для любого транспортного средства является уровень полезной нагрузки. Летательный аппарат считается удачным с экономической точки зрения, если полезная нагрузка близка к 50 %. Из вертолетов только вертолеты с реактивными двигателями на концах лопастей позволяют довести полезную нагрузку до 65 %, т.к. им не нужен редуктор. Но расход топлива у них так велик, что они эффективны лишь на расстояниях до 100 км. Автожиры позволяют довести полезную нагрузку до 75 %. Поршневые двигатели, которые обычно устанавливаются на автожирах, экономичнее реактивных, поэтому запас топлива им нужен небольшой.

Установка кабины, различных средств повышения комфортности полета, приводят к снижению показателя полезной нагрузки. Известны уникальные экспериментальные самолеты, у которых этот ко-

эффициент близок к 75 %, однако, как правило, у самолетов он не превышает 50 %. В целом, автожир является лидером по этому показателю.

Затраты на час эксплуатации машины складываются из трех составляющих: амортизации, зарплаты пилотов, расходов на ГСМ. В классе сверхлегких машин самый экономичный – самолет, далее автожир и вертолет. У самолета двигатель имеет мощность на 20–30 % меньше, ниже цена, амортизация и расходы на ГСМ. Автожир дешевле, чем вертолет, иногда на автожир ставят двигатель меньшей мощности. При скоростях 250 км/ч и выше лобовое сопротивление автожира меньше примерно на 25 % из-за меньшего угла атаки, что также приводит к сокращению расходов на ГСМ. В классе ранцевых нам известны лишь вертолеты и проекты автожиров. Здесь автожиры очень выгодны из-за большей полезной нагрузки, значительно меньшей потребной мощности двигателя. Вертолеты с реактивными двигателями на лопастях безнадежно проигрывают, одноконтурные двигатели не экономичны, а двухконтурные, хотя и более экономичны, но тяжелые. Кроме всего прочего, ранцевые вертолеты тихоходны и имеют очень малую дальность полета, что также сказывается на их экономических показателях.

НАЗНАЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА (ВЫБОР СХЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА)

В отличие от конвертопланов, аэродинамика которых еще плохо изучена, за девяносто лет накоплена богатая статистика поведения автожиров в различных летных ситуациях. Тысячи автожиров, летающих в воздушном пространстве США, Канады, Австралии, доказали высокую безопасность этого воздушного транспортного средства. Прыжковый взлет освоен хуже, однако несколько десятков конструкций, построенных в разных странах мира, более или менее успешно летали и летают сейчас. Переходные процессы, вызвавшие столь долгую наладку Ospry V-22, в предлагаемом аппарате прак-

тически отсутствуют, поэтому его реализация и эксплуатация должны быть относительно простыми. Недостаток предлагаемой схемы – низкая скорость полета по сравнению с конвертопланами самолетной схемы.

Известно также, что при ветре свыше 7 м/с сверхлегкие самолеты и вертолеты должны садиться, а автожиры способны лететь при больших скоростях ветра и могут садиться навстречу ветру при скорости ветра до 20 м/с.

«Стоит отметить, что автожир менее чувствителен в полете на малых скоростях к порывам ветра, чем самолет, в силу

не только своей устойчивости, но и того факта, что относительные скорости, а следовательно, и силы у лопасти ротора, изменяются меньше от порыва ветра, чем у крыла самолета, потому что относительные скорости (при одинаковой скорости полета) у сечения лопасти ротора автожира в среднем больше, чем у крыла самолета». <...> Автожиры могут садиться практически вертикально. «Автожир, если он соответствующим образом сбалансирован, может совершать крутые планирующие спуски при больших углах атаки, так как для него, в отличие от самолета, не существует критического угла, при котором начинается срыв струи на крыле и резкое уменьшение подъемной силы, и нет опасности штопора при потере скорости» [1, с. 86, 96]. Но при безветрии автожирам необходим хотя бы небольшой разбег. Правда, с 30-х годов двадцатого века известны прыжковые автожиры, взлетающие с места за счет накопления кинетической энергии в роторе, но классическая автодинамическая втулка не позволяла добиться безопасного прыжка, т.к. его продолжительность составляла менее двух секунд, а высота – менее десяти метров.

Высота прыжка у современных прыгающих автожиров может достигать 50 м, т.е. выше большинства объектов, встречающихся на поверхности земли. Кроме того, во время выполнения прыжка двигатель используется для набора горизон-

тальной скорости, а не для подъема, что позволяет установить на прыгающем автожире двигатель примерно вдвое меньшей мощности, чем на вертолете аналогичной взлетной массы.

Таким образом, создаваемый аппарат должен иметь прыжковый взлет и выполнять дальнейший полет и посадку в автожирном режиме. По конструкции это должен быть автожир с прыжковым взлетом, механической раскруткой ротора и специальной втулкой.

В соответствии с вышеприведенным анализом спроектирован складной прыгающий автожир «Ника-2» с высотой прыжка 14 м, который подходит для решения поставленной задачи. Ниже дано техническое описание конструкции данного аппарата.

Для ухода от недостаточно изученных переходных процессов при взлете и посадке, опасности повреждения машины при падении пилота и т.п. для «Ники-2» в качестве прототипа выбрана компоновка одноместного Доминатора [8] с развитым горизонтальным оперением.

Для изготовления деталей методами механической обработки требуются станки второго класса точности. Для уменьшения массовых характеристик применены легкие сплавы и композитные материалы. В конструкции использованы серийные двигатель, авионика, винты, шестерни, ременные передачи.

ОПИСАНИЕ КАРКАСА

Технические требования к разработке каркаса:

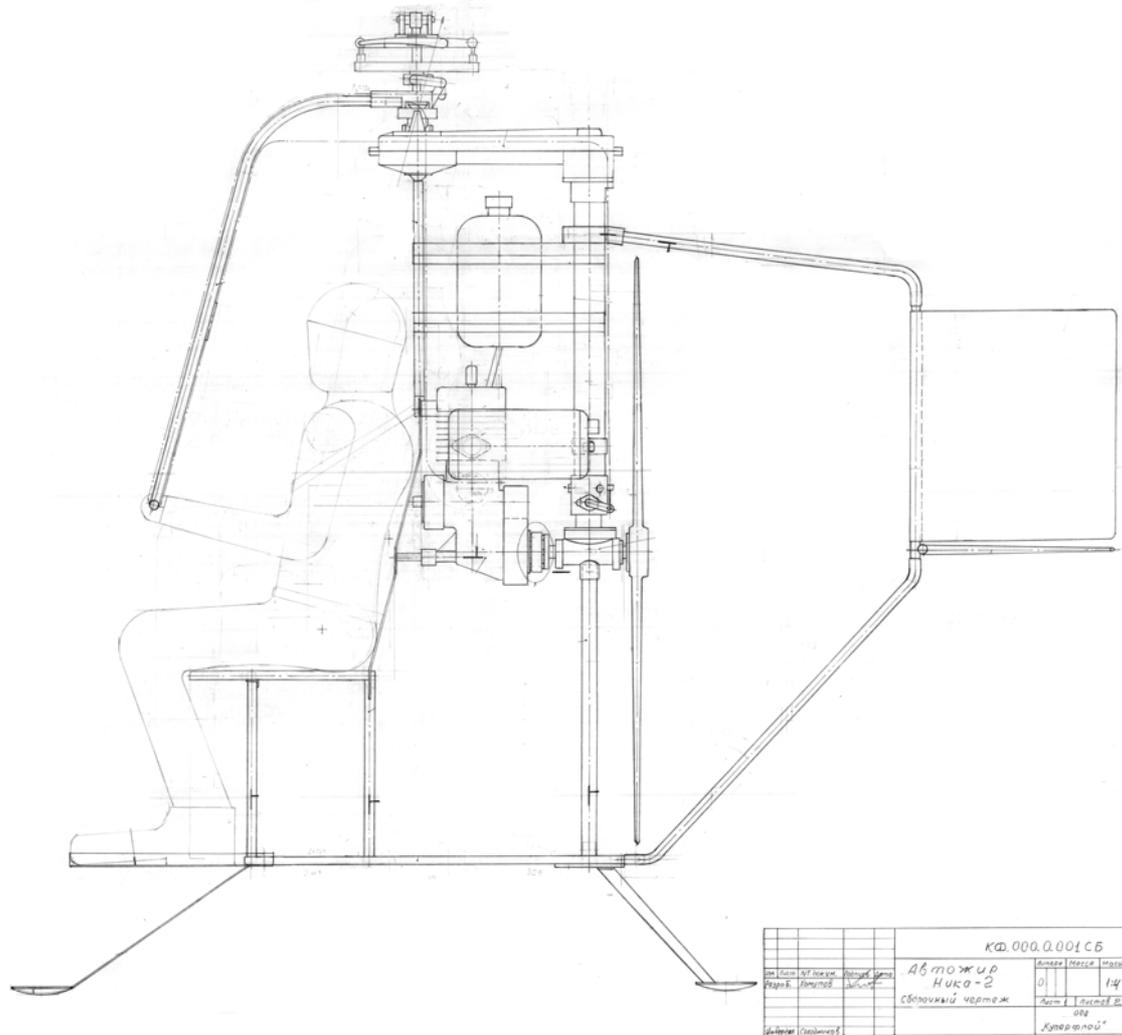
- а) каркас должен удовлетворять требованиям безопасности;
- б) каркас должен включать следующие конструктивные элементы:
 - 1) крепление двигателя;
 - 2) крепление шасси;
 - 3) оперение;
 - 4) крепление глушителя;
- в) размеры должны соответствовать размерам с чертежа общего вида «Ники-2»;
- г) каркас должен удовлетворять проч-

ностным требованиям;

д) каркас должен удовлетворять кинематическим требованиям;

е) масса каркаса не должна превышать 20 кг.

Каркас служит для соединения двигателя, конического редуктора, кресла пилота, бензобака и мачты в одно целое, при этом внутри мачты располагается вал, передающий вращение от конического редуктора на клиноремennую передачу втулки несущего винта. Кроме того, в конструкцию каркаса входят три опоры автожира (шасси): передняя опора распо-



Чертеж общего вида автожира «Ника-2»

лагается под креслом пилота, две другие (задние) располагаются под коническим редуктором и ходовым толкающим винтом. С помощью каркаса также крепится глушитель двигателя.

Оперение автожира состоит из одного вертикального и двух горизонтальных стабилизаторов, которые располагаются позади ходового толкающего винта. Вертикальный стабилизатор состоит из трубки и рамки П-образной формы, соединенной с первой трубкой, и на это соединение одевается чехол, изготовленный из высокопрочного нейлона. Точно так же изготавливаются горизонтальные стабилизаторы, которые своей средней частью крепятся к вертикальному стабилизатору. Верхняя часть вертикального стабилизатора с помощью трубки крепится хомутом к верхней части мачты автожира,

нижняя часть через другую трубку крепится к швеллеру.

Таким образом, каркас и оперение образуют замкнутую систему, усиленную различными элементами для удовлетворения прочностных требований. Каркас может быть разобран при желании на составные элементы, что является важным условием для ремонта и транспортировки изделия. Применение алюминиевых сплавов и сварки дает возможность уменьшения массы каркаса. Вышеуказанные конструктивные решения позволяют удовлетворять требованиям, предъявляемые к каркасу.

Далее был разработан технологический процесс сборки изделия, мероприятия по технике безопасности, противопожарной защите и охране окружающей среды. При выполнении технико-эконо-

мических расчетов на основе разработанных ранее чертежей была рассчитана стоимость сборки каркаса, которая соста-

вила в серийном производстве пять тысяч рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Множество различных летательных аппаратов позволяют бороздить небо, но пришло время, когда возможность использования их как личного транспорта стала реальностью. Это открывает новые возможности использования летательных аппаратов: всем перейти из двухмерного пространственного передвижения в трехмерное; уменьшить расстояния во время

передвижения и, тем самым, существенно сократить расход нефтепродуктов; использовать автожиры для спасения людей и многое другое.

Спроектированные общий вид и каркас для ранцевого автожира с прыжковым взлетом «Ника-2» удовлетворяют всем поставленным требованиям.

Библиографический список

1. Братухин И. П. Автожиры. Теория и расчет. – М.: Госмашметиздат, 1934. – 111 с.
2. Васильев Ю.П., Макаров Ю.В. Не по своей вине опоздавшие. // Авиaproфиль. – 2001. – № 3.
3. Вертолет в рюкзаке // Техника – молодежи. – 1982–1984 г.г. <http://technicamolodezhi.ru>.
4. Винтокрылые летательные аппараты других ОКБ, учебных институтов и авиаконструкторов-любителей. <http://www.airwar.ru/other/shawrov>.
5. Камов Н. И. Винтовые летательные аппараты. – М.: Оборонгиз, 1948. – 207 с.
6. Ружицкий Е.И. Безаэродромная авиация. – М.: Оборонгиз, 1959. – 172 с.
7. Саттаров А.М. Аэродинамический расчет автожира. 1970. <http://twistairclub.narod.ru>
8. Сутормин Е. Некоторые мысли по поводу автожиров. <http://www.aviajournal.interami.com/sections/journal/arh>.