

Рис. 1. Общий вид пассажирского гибридного дирижабля концепции НВОС и схема кабины

ПАССАЖИРСКИЙ ГИБРИДНЫЙ ДИРИЖАБЛЬ КОНЦЕПЦИИ «НВОС»*

Авторский взгляд на современный пассажирский гибридный дирижабль. Анализ проведен в рамках устройства компоновки и обоснования общей концепции. Рассмотрены особенности ключевых узлов аппарата и преимущества проекта в целом. Выделены рациональные конструктивные решения. Показано их влияние на безопасность полетов. На примере проекта ДП-35 приведены расчетные характеристики гибридного дирижабля. Некоторые вопросы освещены в сравнении с классическими дирижаблями. Привлечено внимание к необходимости организации серийного производства подобных гибридных дирижаблей на имеющихся производственных мощностях отечественных предприятий.

О дирижаблях в СМИ написано немало. Построенные в разное время в ряде стран образцы и описанные проекты отличаются большим разнообразием внешнего облика. Возникает естественный вопрос – почему их до сих пор нет в серийном производстве? Одна из причин в том, что даже самый современный высокотехнологичный классический дирижабль не решает проблему противодействия ветровым нагрузкам. Высокая парусность оболочки является врожденным недостатком классического дирижабля. Если на эшелоне полета для борьбы с ветром у него есть ресурс времени и пространства для маневра, то в приземном слое такого ресурса нет, что прямо влияет на уровень безопасности взлетно-посадочных режимов.

Не случайно с начала 1950-х годов разработчики обратились к идее гибридных дирижаблей. Типичным примером группы является вертолет, включающий несущие элементы дирижабля и вертолета. Иногда его еще называют аппаратом с аэростатической разгрузкой, т.к. примерно половина подъемной силы создается несущим газом, а другая половина – вертолетными

несущими винтами. Идея хороша тем, что «убивает» сразу двух «зайцев». С одной стороны, в 2 раза уменьшается потребный объем несущего газа и в $2^{2/3} \approx 1,6$ раза парусность, с другой – получаем мощное средство управления, обеспечивающее необходимую устойчивость и управляемость аппарата на взлете и посадке. Казалось бы, решение найдено, но не все так просто. Лишь единичные проекты гибридных дирижаблей дошли до экспериментальных образцов. Оказалось, что применение вертолетных силовых установок на вертолете серьезно осложняет задачу обеспечения длительной работоспособности вращающейся динамической системы. Присутствие разветвленной трансмиссии и сильно разнесенных масс тяжелых вертолетных модулей, установленных на концах протяженных ферменных балок ограниченной жесткости, критически снизило надежность ЛА. Этот факт убедительно доказала неожиданная катастрофа экспериментального вертолета Heli-Stat американской фирмы «Пясецки эйркрафт» в июне 1986 года, который до этого трагического события выполнил десятки успешных полетов.

Вертолетный винт плохо компоуется с оболочкой дирижабля, главным образом из-за необходимости обеспечить под ним свободное пространство для отбрасываемой воздушной струи. В результате вся конструкция получается громоздкой и недостаточно жесткой. Последствия подобного подхода хорошо известны разработчикам вертолетов.

А что если отказаться от вертолетного режима и применить на дирижабле несущий винт (НВ), постоянно работающий на режиме авторотации. Воздушный поток подхватывает к нему снизу вверх. Значит, расположить его можно над оболочкой, не опасаясь потерь подъемной силы тяги. Причем сразу достигается существенное облегчение и упрощение конструкции. Значительно снижается себестоимость аппарата, т.к. устраняются протяженные боковые ферменные балки, вертолетные редукторы и

трансмиссия. Такая идея возникла в 2012 году [4]. Сначала несущий винт расположили в плоскости сечения центра подъемной силы оболочки. Получилось неплохо. Улучшились компоновочные возможности. Добавилась только масса треугольной ферменной арки, размещенной внутри оболочки. Ее вершина заканчивалась втулкой НВ, левый и правый углы – стойками шасси. В таком виде проект мог быть реализован, но что-то подсказывало, что выявлены не все резервы улучшения конструкции. В начале 2016 года этот вопрос прояснился. Завершилась проработка наиболее оптимальной схемы гибридного дирижабля. О ней далее.

Прежде всего, как дополнение к дефицитной аэростатической подъемной силе гелия (1кг/м^3), напрашивалось использование несущей способности горизонтального оперения. Для этого потребовалось полезную нагрузку и наиболее массивные элементы конструкции разнести по продольной оси дирижабля. Кабину пилотов с пассажирами и НВ разместить в носовой части, маршевые винтомоторные группы с запасом топлива на полет – в хвостовой части на горизонтальном оперении, с приданием ему функции несущего стабилизатора. В итоге, необходимую подъемную силу гибридного дирижабля стали создавать три ключевых элемента: несущий винт + оболочка + стабилизатор (концепция НВОС). Ближайшим аналогом такого решения можно назвать известную схему самолетного триплана.

В установившемся полете НВ компенсирует вес пассажиров и 8...10% веса конструкции, несущая оболочка – 75...80% веса конструкции, несущий стабилизатор – вес запаса топлива на полет и 12...15% веса конструкции. В результате был получен внешний облик гибридного дирижабля концепции НВОС, отвечающий всем требованиям безопасности (Рис. 1, Табл. 1).

В ходе проведенных исследований концепции НВОС

Таблица 1. Расчетные летно-технические характеристики гибридного дирижабля ДП-35

Экипаж, чел.	1-2	Нормальный запас топлива, кг	450
Пассажиры, чел.	12	Крейсерская скорость полета, км/ч (± 5)	150
Грузовой вариант – масса груза, кг	1250	Минимальная скорость полета, км/ч	45
Взлетная масса, кг	3450	Длина разбега с раскрученным винтом, м	30... 50
Масса пустого аппарата, кг	1760	Скорость ветра для взлета с места, м/с	8
Раскройный объем оболочки, м ³	1534	Пробег при посадке, м	6... 10
Подъемная сила несущего газа, Н	13800	Дальность полета с полной загрузкой, км	1200
Компенсация массы аэростатикой, %	80	Перегопочная дальность, км	4000
Диаметр миделя оболочки, м	9	Скорость барражирования, км/ч	70... 80
Длина дирижабля по корпусу, м	38	Продолжительность барражирования, ч	74
Диаметр несущего винта, м	13	Максимальная высота полета, м	1500
Тип маршевых двигателей (2 шт.)	M332C	Рабочая высота крейсерского полета, м	500
Взлетная мощность двигателя, кВт	2×125	Расход топлива на 1 пасс·км, г	28



Владимир ВОРОГУШИН, ведущий инженер НИО АО «ДКБА», кандидат технических наук

*Раскрытие аббревиатуры НВОС дано на следующей странице.

обнаружилась целая группа ее положительных качеств, неизвестных ранее. Остановимся на них подробнее.

В первую очередь сконцентрируем внимание на несущем винте.

Автожирный НВ сам по себе обладает рядом ценных свойств, которые удачно дополняют характеристики дирижабля. К ним, в частности, относятся:

1. Хорошее аэродинамическое качество ($K=5,5...7$).
2. Полное перекрытие диапазонов рабочих скоростей дирижабля и автожирного винта.
3. Способность автожирного винта гасить дестабилизирующие моменты от порывов ветра (пониженная чувствительность к болтанке).
4. Отсутствие срывных режимов обтекания ометаемого диска при всех практических углах атаки к воздушному потоку ($\alpha=0^\circ...90^\circ$).
5. Свойство не создавать пылевого облака на земле, благодаря притеканию воздушного потока к винту снизу вверх.
6. Простая, легкая и технологичная втулка двухлопастного несущего винта с общим выносным горизонтальным шарниром и постоянным углом установки лопастей.
7. Возможность осуществления управления наклоном оси вращения несущего винта.
8. Способность к управляемому планированию и безопасной безмоторной посадке.
9. Низкий уровень вибраций конструкции от вращающегося несущего винта.
10. Возможность активно противостоять сносу с линии пути в крейсерском полете.
11. Отсутствие сложной и тяжелой трансмиссии.

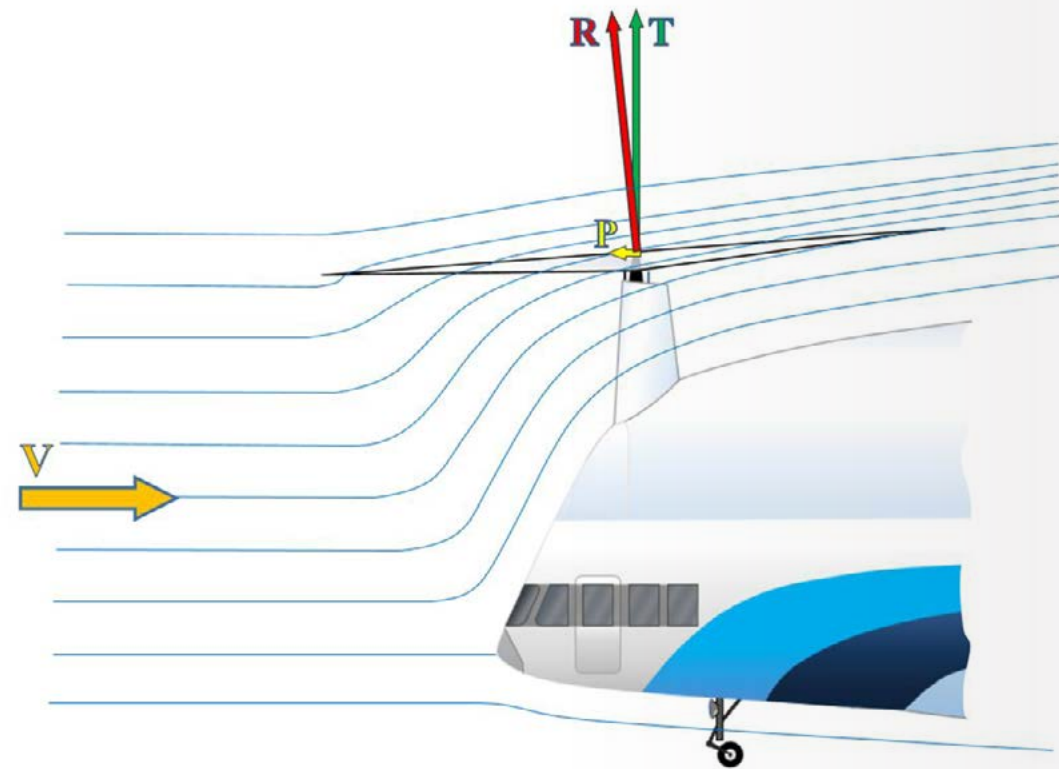


Рис.2. Обтекание автожирного винта в присутствии экрана оболочки дирижабля

Из наиболее важных недостатков автожирного винта следует учитывать:

1. Обязательность предстартовой раскрутки автожирного винта.
2. Требование наличия специального бортового устройства для раскрутки винта.
3. Присутствие завала конуса вращения винта назад и в сторону наступающей лопасти.
4. Необходимость тщательного контроля состояния поверхности лопастей и особенно чистоту «носика» профиля.
5. Опасность обледенения, если отсутствует штатная системы защиты.

Первое следствие расположения автожирного винта в носовой части дирижабля – экранное влияние поверхности оболочки на обтекание ометаемого диска НВ. Близость и форма носовой части приводят к тому, что набегающий поток деформируется и подходит к плоскости НВ под значительно большими углами, чем это имеет место при работе НВ в свободном потоке (Рис.2). Изменение углов притекания потока будет различным по радиусу лопастей, т.к. оболочка носовой части имеет двойную кривизну.

Если вспомнить, что главную роль в ускорении авторотации играют участки лопастей, расположенные ближе к кону, то станет понятным, почему в установившемся полете такой НВ будет работать на отрицательных углах по отношению к направлению вектора V невозмущенного потока. При этом появится тянущая сила P , характерная для вертолетного режима. Часть силы P будет затрачиваться на преодоление дополнительного сопротивления потоку, протекающему в сужающемся канале между плоскостью НВ и поверхностью оболочки, но, в отличие, например, от самолетного автоматического предкрылка,

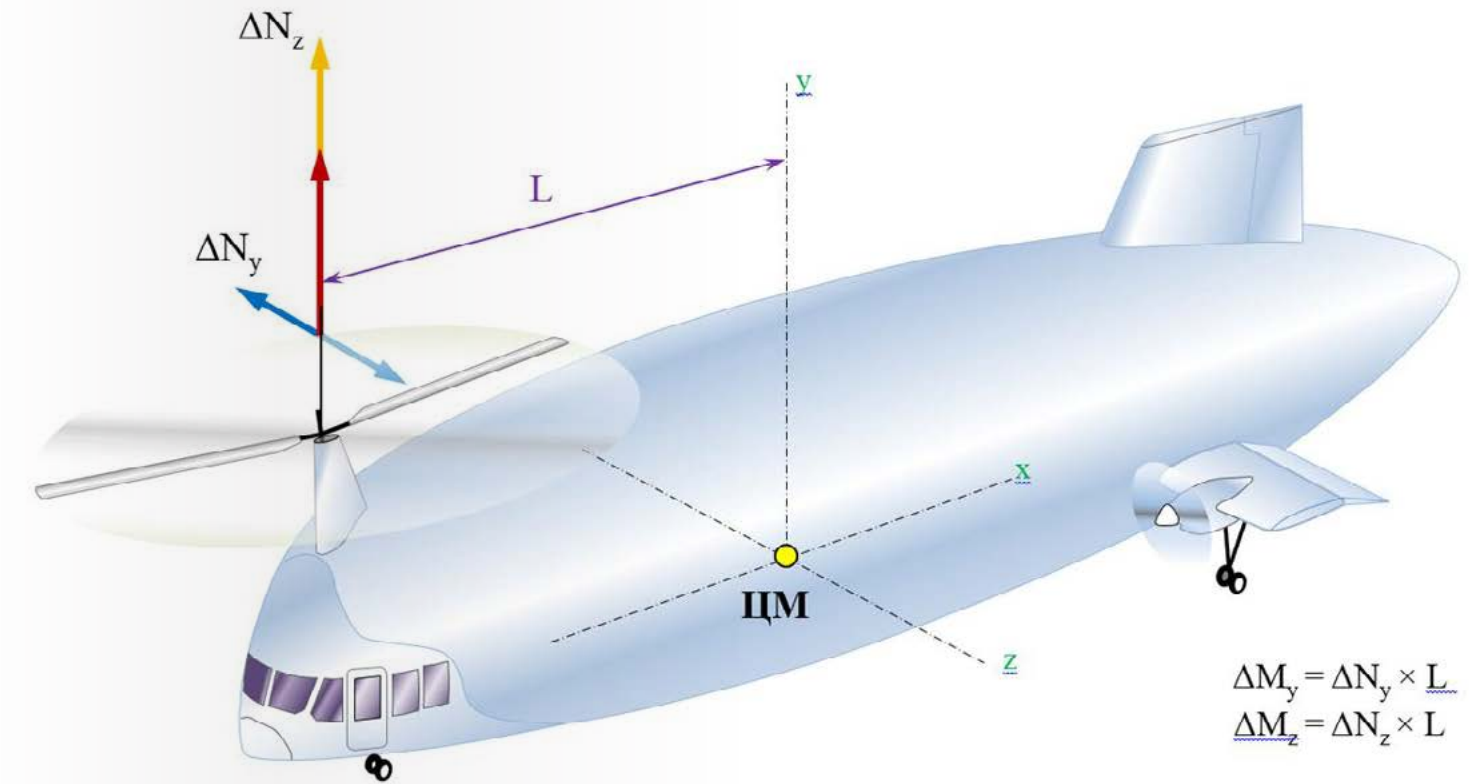


Рис.3. Управление дирижаблем по курсу и тангажу

где увеличение аэродинамического сопротивления несколько больше оттягивающей предкрылок силы, здесь результат будет алгебраически противоположным, т.к. большая часть ометаемой площади НВ работает вне зоны влияния экрана оболочки.

Фактически описанный эффект должен привести к увеличению полетной тяги гибридного дирижабля. А как тут обстоит дело с законом сохранения энергии? На самом деле закон не нарушается. Увеличение ускоряющих авторотации сил за счет скоса потока экраном оболочки означает, что мощность двигателей (с некоторыми потерями) преобразуется на большую массу воздуха, протекающего через ометаемую площадь НВ. В результате генерируется дополнительная пропульсивная составляющая силы P . Иначе говоря, имеем своеобразную реализацию вертолетного режима без механической трансмиссии, редуктора и без реактивного момента на оси вращения НВ. Что напоминает? Правильно! Напоминает НВ с реактивным или реактивно-компрессорным приводом. Хорошо ли это для гибридного дирижабля? Сомнений нет. Замечательный и очень полезный эффект. Пока он не получил экспериментального подтверждения. Такую работу еще предстоит выполнить. Здесь был бы очень кстати опыт ЦАГИ или МАИ с их возможностями проведения экспериментальных продувок в аэродинамических трубах.

Перейдем ко второму важному последствию расположения НВ в носовой части дирижабля, а именно, к режимам управляемости.

Несущий винт расположен далеко впереди от центра масс дирижабля на плече L (Рис.3). Поэтому управление по курсу и тангажу эффективно осуществляется путем

непосредственного наклона площади ометаемого диска несущего винта влево, вправо, углом вверх или вниз по отношению к набегающему потоку. Аналогично при действии ветровых нагрузок. Причем присутствует важная особенность – чем больше сила ветра, тем выше располагаемая мощность управления. Следовательно, на малых скоростях и высотах полета, когда воздействие сильного ветра наиболее опасно, управляемость дирижабля усиливается вслед за усилением ветра. Всережимная управляемость – второе замечательное свойство предложенной схемы.

Наконец, третье следствие расположения НВ в носовой части дирижабля связано с условиями раскрутки НВ перед взлетом и возможностью его подкрутки в полете.

У обычных автожиров с механической раскруткой НВ пилот при заторможенном аппарате должен сначала раскрутить винт до максимальных оборотов и лишь после этого, отключив механизм раскрутки, отпустить тормоза и начать движение на взлет. Иначе нельзя. В стартовом положении НВ находится к набегающему потоку под углом $22...30$ градусов. С началом движения начинает быстро расти подъемная сила тяги. Сила сцепления колес шасси с поверхностью уменьшается и, если не отключить раскрутку НВ, корпус аппарата во время разбега начнет разворачиваться поперек движения, т.к. компенсирующий момент кия еще мал, что неминуемо приведет к аварии с тяжелыми последствиями. У гибридного дирижабля этой опасности нет. Пилот может не отключать механическую раскрутку НВ в процессе движения на взлет до отрыва и продолжать ее в наборе высоты без каких-либо ограничений. Такая возможность, во-первых, приводит к ускоренному достижению полетных оборотов НВ и

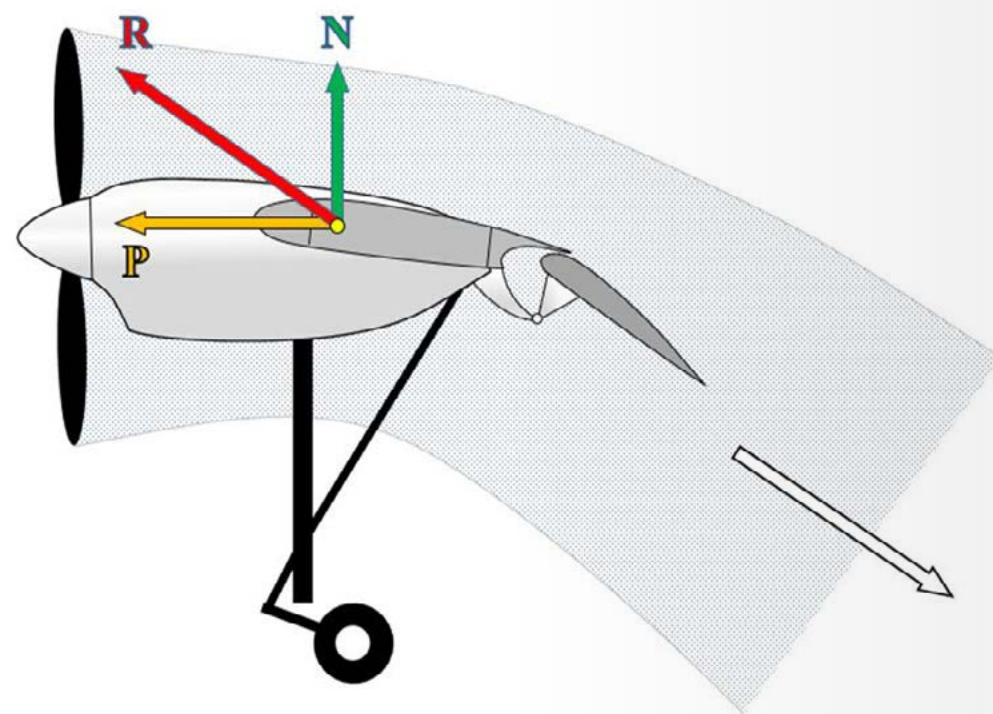


Рис.4. Обдув несущего стабилизатора с закрылком струей от винта

позволяет значительно превысить их в наборе высоты, обеспечивая вертикальную скорость до 8...11 м/с. Во-вторых, снижаются изгибающие моменты в комлевых сечениях лопастей благодаря согласованности в действии центробежных и подъемных сил на лопасти.

За счет чего возникает такое свойство? Ответ простой – за счет благоприятных особенностей компоновочной схемы. При размещении кабины и НВ в носовой части, хвостовое оперение, включающее киль и несущий стабилизатор, а также маршевые двигатели и основные стойки шасси находятся далеко позади за центром масс (Рис.3). От точки контакта основных стоек шасси и, одновременно, от центра давления киля до оси вращения НВ образовано огромное плечо – более 2L. В процессе движения на взлет в первую очередь уменьшается сцепление с поверхностью передней стойки шасси. Основные же стойки шасси не теряют сцепления вплоть до момента отрыва, исключая возможность бокового разворота корпуса. К тому же, скорость отрыва дирижабля ДП-35 составляет 12,5 м/с (45 км/ч), а на этой скорости, в дополнение к компенсирующему моменту от сцепления основных стоек шасси, полный компенсирующий момент с запасом уже создает поверхность киля. Поэтому отрыв и уход в набор высоты не сопровождается угловым поворотом корпуса аппарата.

Вывод: пилотирование на взлете никак не осложняется реактивным моментом раскрутки. Более того, пилот может при необходимости осуществлять подкрутку НВ в полете. Например, для прохождения точки разгрузки НВ (горка), для быстрой смены высоты, или при попадании в условия обледенения, когда из-за искажения профиля лопастей может ухудшиться режим авторотации. Подкрутка надежно страхует НВ от критической потери оборотов, что можно считать одним из способов

повышения безопасности полета.

Рассмотрим особенности несущего стабилизатора.

Обдув крыла струей от винта при отклоненном закрылке (Рис.4) – давно известный способ увеличения подъемной силы. Он широко применяется турбовинтовыми самолетами и доказал свою эффективность в сокращении длины разбега. Для гибридного дирижабля такой резерв тоже выгодно использовать, переложив на стабилизатор полезную нагрузку в виде запаса топлива на полет. Это удобно, т.к. маршевые двигатели и основной топливный бак находятся рядом и топливо может подаваться в двигатели самотеком по коротким трубопроводам. По мере выработки топлива в полете подъемная сила стабилизатора с учетом скорости полета пропорционально уменьшается за счет автоматического уменьшения угла отклонения закрылка (триммерный режим). Конструкция закрылка проектируется с двойной функцией – «закрылок-элерон» (аналогично зависящему элерону Ан-2). Такое решение необходимо для создания возможности парирования крена аппарата при отказе одного из двигателей.

Для силовой схемы дирижабля благоприятно сказывается и тот факт, что на каркасе стабилизатора замыкаются сосредоточенные массы двигателей, шасси и основного топливного бака. Это позволяет передавать нагрузки между ними по кратчайшему пути и, следовательно, добиться минимизации конструктивной массы.

Перед взлетом угол положения закрылков задается пилотом, исходя из двух параметров – запаса топлива на полет и взятой по графику РЛЭ скорости отрыва, соответствующей фактическим наружным атмосферным условиям. Например, у ДП-35 при запасе топлива на полет 450 кг и скорости отрыва 45 км/ч закрылки перед взлетом должны устанавливаться на 20 градусов. Тогда, при достижении заданной скорости отрыва, угол тангажа корпуса

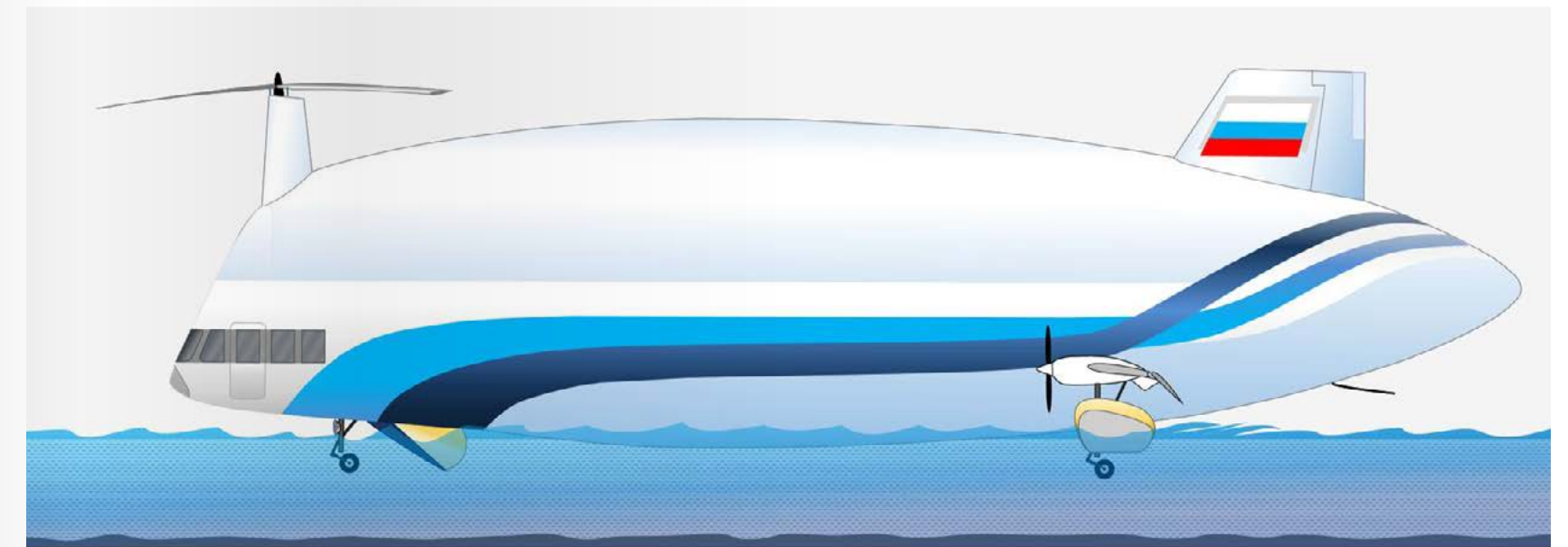


Рис.5. Гибридный дирижабль концепции НВОС на воде (состояние после посадки или перед взлетом)

увеличивается подъемной силой НВ до 10 градусов. При этом суммарное отклонение отбрасываемого маршевыми винтами потока становится равным 30 градусам. Подъемная сила на стабилизаторе достигает расчетной величины и основные стойки шасси отрываются от поверхности взлетной площадки. Почему площадка, а не ВПП? Потому что для взлета с максимальной пассажирской загрузкой ДП-35 требуется всего около 50 м ровной поверхности, т.е. расстояние, немного превышающее размер его корпуса (38 м). Соответственно, для взлетов и посадок можно ограничиться площадкой размером в 100 метров, учитывая отсутствие препятствий на линии начальной траектории набора высоты.

А как же обстоит дело с возможностью посадки и взлета гибридного дирижабля на воду? И здесь мы можем воспользоваться преимуществами выбранной схемы. Если у классического дирижабля посадка на воду практически исключена по причине неминуемого затопления подвешенной гондолы, то у ДП-35 с кабиной, встроенной в носовую часть, возможность взлетов/посадок с воды становится штатной (Рис.5). Для этого дополнительно используются три убираемых поплавка – два на основных стойках шасси (по 0,6 м³) для обеспечения необходимой остойчивости и один в нише за передней стойкой шасси (3 м³) для поднятия над водой утяжеленной кабины с пассажирами. Уборка и выпуск поплавков осуществляются пневматически с помощью электроклапанов в режимах нагнетания/вакуумирования. Аппарат способен глиссировать по воде к месту выезда на берег и от него.

В заключение некоторые итоги.

Из изложенного материала очевидно, что на базе найденных решений может быть создан безопасный, универсальный и недорогой (~\$480тыс.) 12-местный летательный аппарат для местных воздушных линий. Такой тип ЛА особенно востребован на обширных территориях Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. Кроме того, он практически идеален для развития проектов массового воздушного туризма во всех уголках страны.

Комфорт в тихой и просторной кабине с панорамным обзором даже выше, чем в магистральных самолетах, а себестоимость летного часа более чем в 2 раза меньше, чем у Ан-2.

Характеристики гибридного дирижабля концепции НВОС подтверждают практическую целесообразность инвестиций в развитие данного направления. Для разработки, изготовления, испытаний и сертификации опытных образцов требуется изыскать примерно 620 млн рублей. Сумма по меркам современного авиастроения небольшая. Программу серийного производства таких ЛА можно реализовать на существующей в России технологической базе. Например, в АО «ДКБА» имеется крупнейший в России эллинг, где одновременно могут собираться до 15 аппаратов, подобных ДП-35. По программе модернизации промышленности на капитальную реконструкцию сооружения уже затрачено более миллиарда рублей государственных средств. Однако сейчас эллинг стоит пустой, и перспектива его загрузки не ясна. Разорвать этот порочный круг может либо настоящий государственный, либо очень дальновидный частный инвестор. Есть над чем подумать, не правда ли?

Литература

1. В.П.Асовский. Расчетная оценка и взаимосвязь летно-технических характеристик перспективных автожиров. Научный вестник МГТУ ГА. №111, 2007г., с.147-153.
2. А.Н. Кирилин. Дирижабли. МАИ. 2013г., 405с.
3. В.Б. Козловский, О.В. Худоленко, В.С. Деревянко. Аэростатические летательные аппараты для отраслей экономики. Москва. «Воздушный транспорт», 2007г., 474с.
4. В.А. Ворогушин. Недостатки дирижабля компенсирует их гибрид. «Авиапанорама», №2, 2014г., с.27-34.