

Внешний вид и салон транспортно-пассажирского СВВП с НВЗТ

## САМОЛЕТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ С НЕСУЩИМ ВИНТОМ, УБИРАЕМЫМ И РАСКРЫВАЕМЫМ В ПОЛЕТЕ

### АННОТАЦИЯ

Приводятся основные сведения о проекте СВВП с несущим винтом зонтичного типа (НВЗТ), складывающимся и раскрывающимся в полете. Рассмотрена работа модуля НВЗТ в составе СВВП. Дан короткий анализ по основным вопросам, представляющим интерес для проектирования. Приведены особенности взлета и посадки СВВП с НВЗТ. Затронуты вопросы живучести и безопасности полетов СВВП с НВЗТ. Дано сравнение различных схем винтовых СВВП по потребной энерговооруженности и крейсерской скорости. Оценены перспективы использования НВЗТ в современных СВВП.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Схема СВВП, несущий винт зонтичного типа, складывание несущего винта, раскрытие несущего винта, многореберная балка, вектор полной аэродинамической силы, подъемная сила тяги, особенности взлета и посадки, живучесть, безопасность полета

### 1. Концепция

Тема СВВП остается актуальной, и не только для военных. Гражданская авиация не меньше заинтересована в таких транспортных летательных аппаратах для освоения обширных труднодоступных территорий России, где нет не только оборудованных аэродромов, но и обустроенных посадочных площадок. Причем по удаленности расположения многие важные районы остаются недоступными даже для вертолетов.

Решающим условием гражданского применения является возможность рентабельной эксплуатации летательного аппарата, т.е. стоимость жизненного цикла СВВП должна быть соизмеримой с вертолетом близкой размерности. Сложная проблема. В прошлом ей мало уделялось внимания, потому что СВВП в первую очередь нужны были для решения военных задач, где экономические вопросы никогда не были главными.

Прежние проекты СВВП, как показывает анализ, по ряду свойств конструкции не способны обеспечить эффективность и безопасность эксплуатации в гражданской сфере [1]. В связи с этим возникает потребность обновить подходы к концепции развития транспортных грузопассажирских СВВП. Этой задаче и посвящен материал данной статьи.

Все СВВП, за исключением схемы с останавливаемым в полете Х-образным ротором-крылом, характеризуются наличием двух несущих систем – взлетно-посадочной и крейсерской. Именно взлетно-посадочная несущая система, по сути, определяет степень совершенства СВВП.

Известно, что энергетически самой выгодной взлетно-посадочной несущей системой обладает вертолет [1, 4, 6]. Его несущий винт (НВ) имеет наименьшие затраты мощности на создание 1 кг подъемной силы тяги при нулевой поступательной скорости. Однако, как несущая система для крейсерского полета, НВ резко проигрывает крылу по аэродинамическому качеству и допустимой максимальной скорости, в среднем в два-три раза [2, 3, 4, 6]. Следовательно, для создания СВВП с аэродинамической эффективностью, приближающейся к самолетной, необходимо, чтобы для взлета и посадки использовался НВ, а для крейсерского полета – крыло. И здесь возникают две главные проблемы: куда деть НВ после взлета и как обеспечить безопасность переходных режимов.

Посмотрим, например, на скоростной магистральной самолет. Конструктивно он имеет две конфигурации – взлетно-посадочную и полетную. Обе конфигурации можно считать двумя интегрированными друг в друга несущими системами. Для получения приемлемой длины разбега на самолете используется мощная механизация крыла в виде одно-, двух- или трехщелевых выдвижных

закрылков и предкрылков. Из аэродинамики известно, что выдвижные закрылки и предкрылки изменяют кривизну профиля крыла, увеличивают его эффективную площадь и значительно повышают коэффициент подъемной силы  $C_y$ . Понятно, что взлет самолета также сопровождается переходным режимом. После отрыва от ВПП его взлетно-посадочная конфигурация трансформируется в конфигурацию полетную. Причем важно обратить внимание на непрерывную аэродинамическую согласованность переходного режима с набегающим потоком и создаваемыми им силами. Процесс уборки закрылков сопровождается плавным снижением аэродинамического сопротивления, увеличением скорости полета и поддержанием подъемной силы на крыле, характерной для полетной конфигурации. Убранные закрылки вписываются в общий контур профиля. Аэродинамические характеристики становятся оптимальными для крейсерского полета.

Такого же согласованного взаимодействия взлетно-посадочной несущей системы с набегающим потоком на переходных режимах следует добиваться и у СВВП с НВ. Значит, решение о складывании НВ само по себе является только необходимым условием, но не достаточным. Нужен такой способ складывания НВ, при котором обеспечивается плавное убывание (при складывании) или плавное нарастание (при раскрытии) полной аэродинамической силы НВ и ее согласованное взаимодействие с изменением полной аэродинамической подъемной силы на крыле.

Отсюда вытекает важное концептуальное условие: для получения безопасных переходных режимов полета СВВП в период складывания или раскрытия НВ необходимо обеспечить механическую и аэродинамическую синхронизацию пространственного положения лопастей по отношению к набегающему потоку по параметру изменения величины и направления вектора полной аэродинамической силы и согласованность такого изменения с величиной аэродинамической подъемной силы на крыле, причем крейсерская конфигурация СВВП с убранным НВ должна оптимально соответствовать скоростному самолетному режиму.

По результатам исследований было показано, что в наибольшей мере этой концепции отвечает НВ со схемой складывания/раскрытия лопастей зонтичного типа – концепция НВЗТ.

### 2. Общая характеристика проекта

Для СВВП со складывающимся НВ зонтичного типа (НВЗТ) выбрана схема двухдвигательного высокоплана со стреловидным крылом и нормальным хвостовым оперением. Общий вид проекта СВВП изображен на Рис.1 и Рис.2. Схема высокоплана хорошо согласуется с компоновкой гондолы НВЗТ, которая расположена между



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

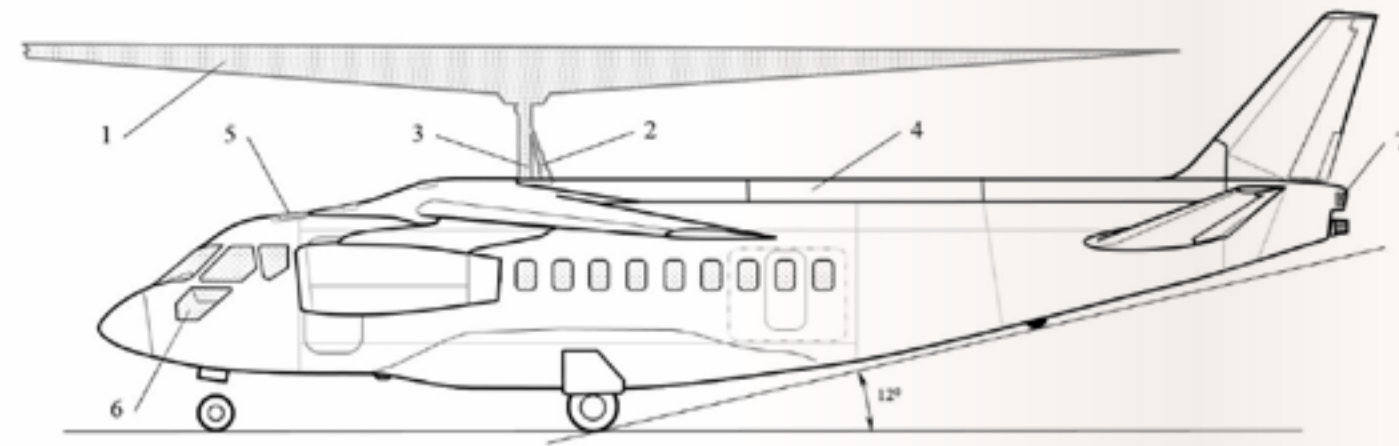


Рис. 1. Общий вид транспортно-пассажирского СВВП со складывающимися НВ (проект):  
1 – складывающийся НВ; 2 – силовой агрегат привода механизма выпуска/уборки НВ; 3 – несущая ось НВ (одновременно воздуховод);  
4 – створки (3х2шт.) гондолы НВ; 5 – смотровое окно-люк наблюдения за НВ и доступа к турбокомпрессору;  
6 – дополнительное остекление фонаря кабины; 7 – эжекторное сопло путевого управления

задним лонжероном центроплана и передним лонжероном киля, вдоль гаргрота фюзеляжа, и частично перекрывается с его диаметром. Объем гондолы закрывают 3 пары продольных створок, которые приводятся в движение перед раскрытием или в конце цикла складывания НВ.

Перед передним лонжероном центроплана под обтекателем предусмотрена установка турбокомпрессора на базе газогенератора подъемного ТРД РД-48. Выходной трубопровод турбокомпрессора соединен с шарнирным узлом (7) несущей оси НВ (8) (Рис.3). Далее сжатый воздух через канал в несущей оси НВ (8),

воздухораспределитель (6), рукава-тяги (5) и каналы в лонжеронах лопастей (1) подается к концевым соплам НВ, и они своей тягой обеспечивают вращающий момент, необходимый для создания подъемной силы тяги. Такая конструкция известна, как реактивно-компрессорная система привода НВ. В Советском Союзе большой объем теоретических и экспериментальных исследований по этой системе [7] в свое время провел д-р техн. наук Ю.Г. Бехли, работавший в ЦИАМ.

Кроме того, в отличие от обычного самолета, рассматриваемый СВВП имеет:

- дополнительные окна (6) (Рис.1) остекления кабины экипажа по правому и левому борту, улучшающие обзор

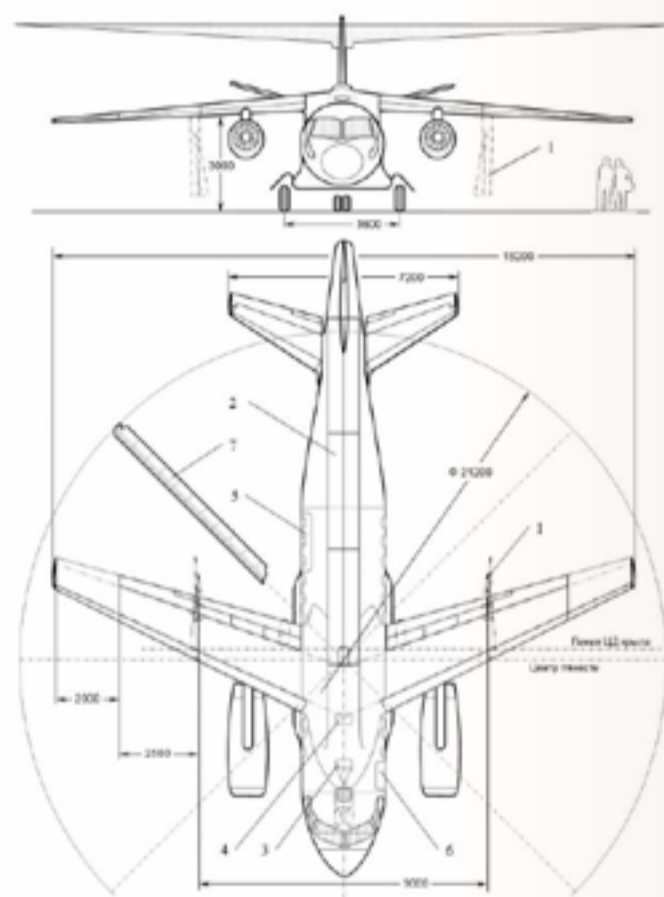


Рис. 2. Транспортно-пассажирский СВВП с НВЗТ. Вид спереди и в плане  
1 – сложенные консоли крыла; 2 – гондola НВ; 3 – створка воздухозаборника турбокомпрессора; 4 – створка выхлопного устройства турбокомпрессора; 5 – грузовая дверь; 6 – пассажирская дверь-трап; 7 – лопасть НВ

нижней наружной полусферы на околонулевых скоростях полета,

- окно-люк (5) (Рис.1) сверху на фюзеляже перед обтекателем крыла, для наблюдения за НВ и обеспечения доступа к нему и турбокомпрессору в автономных условиях обслуживания,

- две секции консолей крыла (1) (Рис.2), складывающиеся вниз «под себя», что существенно уменьшает его вредное сопротивление на режиме висения и стояночные габариты при палубном базировании.

В остальном компоновочная схема СВВП соответствует облику обычного транспортного самолета классической схемы.

### 3. Характеристика схемы складывания НВ

Применение на СВВП модуля НВЗТ является основной идеей проекта и предлагается к реализации впервые. Более ранние проекты с НВ, которые прорабатывались в разные годы отечественными (ОКБ им. Мясищева, КБ «Камов») и зарубежными фирмами (Белл, Локхид), предусматривали складывание лопастей в плоскости их вращения назад по полету с последующей уборкой в гондолу. Однако риск соударения и разрушения лопастей в условиях турбулентного набегающего потока при этом сохраняется, что серьезно осложняет развитие подобных схем. Такой подход следует признать ошибочным, т.к. в цикле складывания и раскрытия НВ набегающий поток в нем оценивается как противодействующий фактор, а должен закладываться как один из главных участвующих признаков.

НВЗТ исключает возможность взаимного соударения лопастей как в условиях воздействия набегающего потока, так и без него (складывание и раскрытие НВ на стоянке). Кроме того, благодаря гармонизированному

взаимодействию лопастей с набегающим потоком, обеспечено плавное убывание (при складывании) или плавное нарастание (при раскрытии) вектора полной аэродинамической силы НВ и благоприятное влияние его углового перемещения на перебалансировку СВВП во время переходных режимов полета.

На Рис.3 изображена конструктивная схема основных элементов механизма НВЗТ в убранном положении (Рис.3а) и в начальной фазе процесса раскрытия (Рис.3б), который можно распространить на весь цикл движения лопастей НВЗТ в прямом и обратном направлении.

В исходном положении лопасти (1) сведены друг с другом по задним кромкам профилей, гидроцилиндр механизма привода (9) стоит на упоре, фиксирующем ползун (6) НВ в крайнем левом положении с расчетным усилием. Расчетное усилие необходимо, чтобы лопасти, сведенные по задним кромкам в симметричный «цветок», образовали жесткую многореберную балку, которая безопасно заводится в гондолу и компактно помещается в ней на мягких концентрических ложементках. Исходное положение сложенных лопастей правильно назвать флюгерным, имея в виду, что такая многореберная балка, будучи помещенной в косой воздушный поток, не генерирует вращающий момент.

В прямом цикле, после подачи сигнала «Выпуск», открываются створки гондолы, и шток механизма привода оси НВ (9) начинает выдвигаться, поднимая ось вращения (8) НВ в направлении роста угла  $\beta$  (Рис.3б) и, одновременно, сдвигая втулку (10) НВ по оси вправо. Воздушные рукава-тяги лопастей (5), упираясь в поводковые тяги (12) через стыковочные узлы, отклоняют лопасти (1) в направлении роста угла  $\alpha$ , образуя расширяющийся конус НВ. Поводковые тяги (12) имеют косо упор в поводки

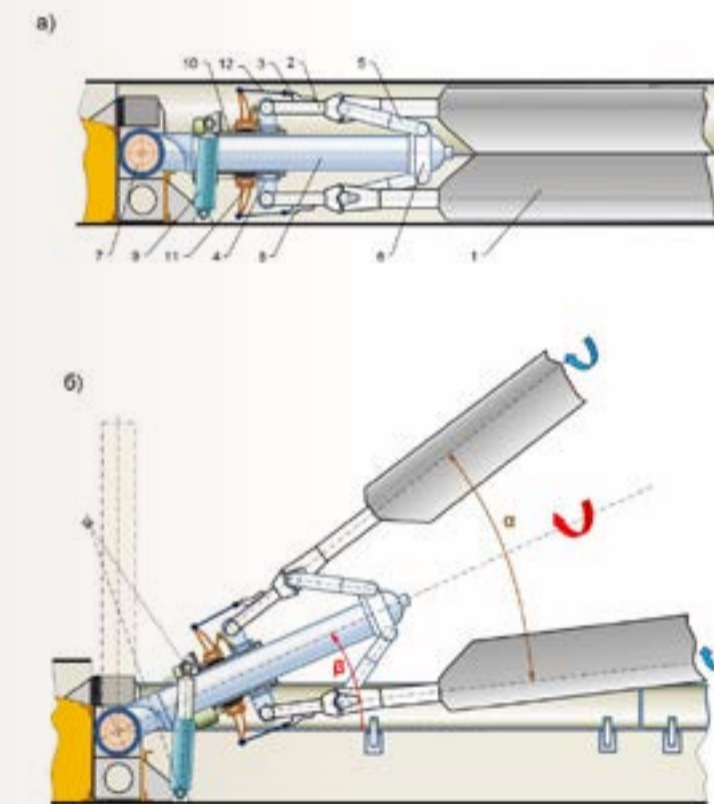


Рис. 3. Схема устройства и принцип работы НВЗТ  
1 – лопасти НВ; 2 – рукава втулки НВ; 3 – поводки лопастей; 4 – втулка НВ; 5 – воздушные рукава-тяги лопастей;  
6 – воздухораспределитель; 7 – шарнир НВ и входной воздушный канал; 8 – ось НВ; 9 – механизм привода оси НВ; 10 – ползун оси НВ;  
11 – автомат перекося; 12 – поводковая тяга

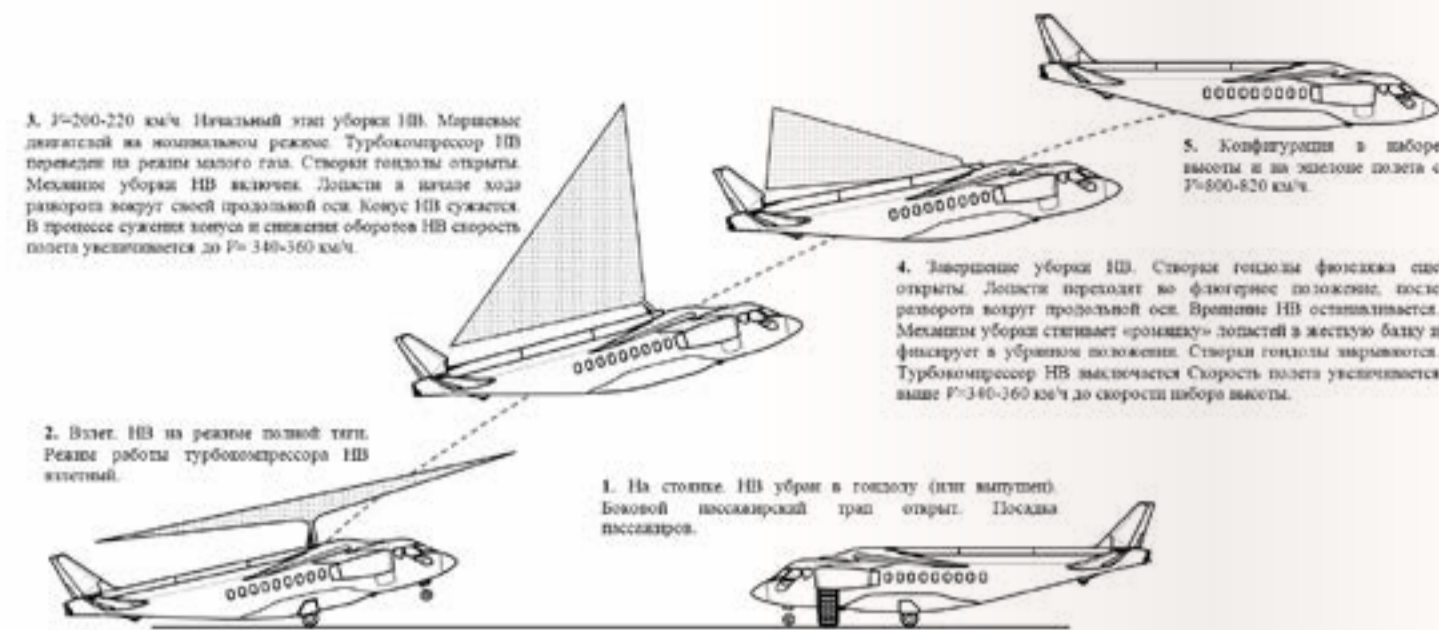


Рис. 4. Основные моменты взлета СВВП и набора высоты эшелона

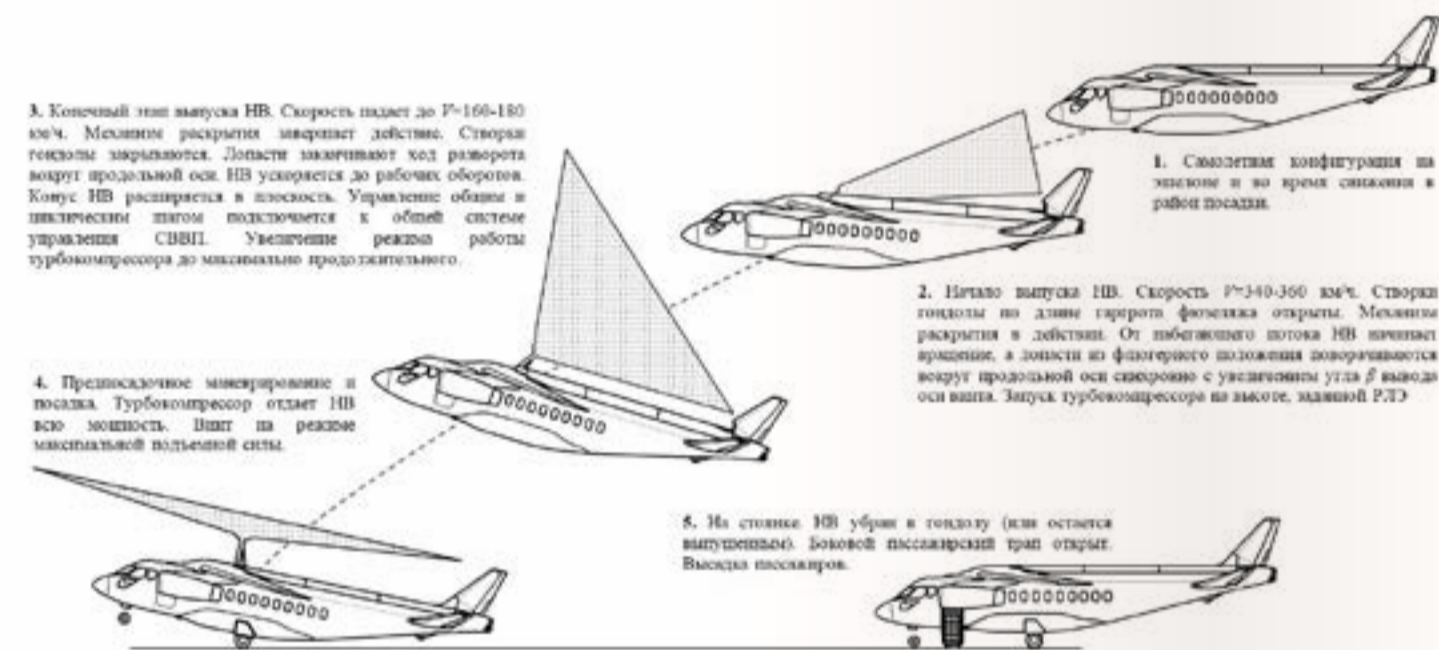


Рис. 5. Основные моменты снижения СВВП с эшелона и посадки

лопастей [3]. Благодаря этому раскрытие конуса НВ сопровождается синхронным поворотом лопастей и их соответствующим взаимодействием с набегающим потоком сначала в режиме ветряка, в конце с переходом в авторотирующий режим обтекания. В результате на лопастях возникает и быстро нарастает вращающий момент, который в цикле раскрытия конуса НВ разгоняет винт до расчетных оборотов. Одновременно растет вектор полной аэродинамической силы НВ, который, действуя по оси вращения (8), суммируется с вектором полной аэродинамической силы крыла СВВП.

На переходных режимах стабилизатор создает положительную подъемную силу, т.к. до момента достижения вертикального положения оси вращения НВ линия действия полной аэродинамической силы проходит выше центра тяжести СВВП. Важным следствием этого является то, что в начале выпуска или в конце уборки НВ хвостовая часть фюзеляжа СВВП и узкий конус упругих лопастей, на которых в этом секторе нет центробежной силы,

стремятся симметрично отдалиться друг от друга в набегающем воздушном потоке, уменьшая опасность сближения колеблющихся концов лопастей с поверхностью фюзеляжа и створок гондолы.

В обратном цикле, после подачи в механизм привода оси НВ сигнала «Уборка», его шток начинает задвигаться, опуская ось вращения (8) НВ в направлении уменьшения угла  $\beta$  (Рис.3б), одновременно сдвигая втулку (10) НВ по оси (8) влево. Весь процесс взаимодействия лопастей с набегающим потоком проходит в обратном порядке. Конус НВ сужается, вращающий момент снижается, обороты винта падают. В момент сведения лопастей по задним кромкам до упора с расчетным усилием их пакет приобретает жесткость продольной многореберной балки, которая в конце цикла уборки мягко и точно заводится в гондолу. Складывание НВ завершается закрытием створок.

**4. Особенности взлета и посадки**

На Рис. 4 и Рис. 5 изображены и кратко прокомментированы основные этапы взлета и посадки СВВП с НВЗТ.

Раскрытие или складывание НВ может осуществляться непосредственно перед взлетом, сразу после посадки и перед помещением СВВП в ангар ограниченных размеров. В последнем случае, дополнительно, могут убираться «под себя» консоли крыла.

Вертикальный взлет «по-вертолетному» также может осуществляться с опущенными вниз «под себя» консолями крыла, которые кинематически связаны между собой и синхронно переводятся в полетное положение после достижения СВВП поступательной скорости, за которой поток от НВ перестает попадать на крыло. Причем механизм привода консолей крыла будет иметь небольшую мощность, т.к. площадь внутренних отклоняемых секций крыла существенно больше площади наружных, и с ростом скорости полета внутренние секции за счет аэродинамических сил помогают себе и наружным секциям подняться в плоскость крыла с последующей фиксацией полетного положения механическими замками.

На эшелоне полета и на траектории снижения СВВП с НВЗТ обладает большой кинетической энергией. Поэтому для выпуска и раскрытия НВЗТ не требуется запуск турбокомпрессора. На рекомендованной руководством по летной эксплуатации (РЛЭ) высоте достаточно включить питание механизма привода оси НВ [9] на «Выпуск» (Рис.3б).

Предусматривается также ручное раскрытие НВЗТ с использованием энергоемкости гидроаккумулятора или рабочего давления от ручного гидронасоса. Примерно с угла выхода оси вращения винта на  $8-10^\circ$  (конус  $16-20^\circ$ ) начинает быстро нарастать энергия, отбираемая НВ от набегающего потока для раскрутки и завершения полного раскрытия лопастей с выводом их в рабочую плоскость.

Возможность управления углом раскрытия конуса позволяет, в случае необходимости, остановить выпуск НВ в промежуточном положении и вновь убрать его в гондолу. Наиболее востребован начальный участок угла выпуска примерно до  $15^\circ$  (конус  $30^\circ$ ). В этом случае пилот может управлять траекторией снижения и интенсивностью гашения скорости СВВП. Такая возможность является близкой аналогией воздушных тормозов или интерцепторов обычного самолета.

Полный выпуск НВЗТ завершается после плавного снижения горизонтальной скорости СВВП до  $160-180$  км/ч (Рис.5). Перед этим экипаж, продолжая заход на посадку «по-автожирному», запускает турбокомпрессор. С подачей мощности турбокомпрессора на НВ начинается режим полета «по-вертолетному» и СВВП, выполняя предпосадочное маневрирование, осуществляет штатную посадку. Без запуска турбокомпрессора посадка выполняется «по-автожирному» с небольшим пробегом.

Управляющая система должна согласовывать скорость складывания/раскрытия НВ со скоростным режимом СВВП и действующими на него перегрузками. Исполнительным агрегатом, предотвращающим чрезмерное увеличение скорости раскрытия НВЗТ, является механизм привода оси НВ [9] (Рис.3а).

Процесс складывания и уборки НВЗТ после взлета производится в обратном порядке. Отличие только в алгоритме задаваемого изменения углов атаки лопастей,

которые должны создавать тормозящие составляющие углового движения с таким расчетом, чтобы к моменту поворота оси НВ на  $80-85^\circ$  обороты НВ были близки к 0. Дальше происходит сведение задних кромок лопастей в пакет, заведение их в гондолу и закрытие створок.

**5. Обеспечение живучести и безопасности полетов СВВП с НВЗТ**

Возможность размещения НВ в закрытой гондole при стоянке и хранении СВВП является одним из его преимуществ и обеспечивает сохранность наиболее ответственных частей конструкции НВЗТ. Внутренний объем гондолы обогреваемый, защищен от ветра, дождя и снега, лопасти не подвергаются прямому воздействию солнечных лучей.

Живучесть обеспечивается тремя вариантами передачи потоков мощности к НВЗТ и дублированием каналов системы управления.

Создание вращающего момента в НВЗТ может осуществляться:

- 1 – от турбокомпрессора в режиме «по-вертолетному» (первая рабочая схема),
- 2 – от двигателей через воздушный поток «по-автожирному» (вторая рабочая схема),
- 3 – от набегающего потока на спуске «по-автожирному» (аварийная схема).

1-й режим обеспечивает нормальный взлет и посадку «по-вертолетному» и энергичный начальный набор высоты за счет сложения мощностей двигателей и турбокомпрессора.

2-й режим обеспечивает конечный этап штатного снижения или продолжение взлета «по-автожирному» при отказе турбокомпрессора. Отказ турбокомпрессора опасен на режиме висения с малым запасом высоты и поступательной скорости, ввиду наличия небольшой мертвой зоны, где расстояния до земли не хватает для разгона СВВП до скорости полета «по-автожирному». Эта зона значительно меньше, чем у вертолетов.

3-й режим обеспечивает безопасное снижение и посадку с «подрывом шага» перед приземлением в случае полного отказа турбокомпрессора и двигателей.

Кроме того, остается возможность выполнения взлетов и посадок «по-самолетному» на ВПП обустроенного аэродрома с твердым покрытием.

Наиболее существенное влияние на систему управления СВВП оказывает отказ одного из двигателей, сопровождающийся возникновением разворачивающего курсового момента.

При продолжении взлета с одним отказавшим маршевым двигателем, момент крена парируется наклоном тяги НВ в сторону работающего двигателя и вперед. При этом создается плечо, на котором горизонтальная составляющая подъемной силы тяги противодействует разворачивающему курсовому моменту. Сюда добавляется противодействующий момент от хвостового эжекторного сопла и нарастающий по скорости момент от кила.

Таким образом, требование безопасности управления при отказе одного из двигателей на висении и при разгоне СВВП выполняется.

Характерно, что СВВП с НВЗТ обладает более высокими