

Лабораторная работа № 3

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕРТОЛЕТА И ИХ ВЫБОР

1.1. Исходные данные на проектирование

В учебном процессе проектирование выполняют в соответствии с исходными данными на проектирование.

Основной задачей проектирования является формирование внешнего облика вертолета, т.е. выбор схемы и определение наиболее целесообразного сочетания основных параметров вертолета и его систем, обеспечивающих выполнение тактико-технических требований (ТТТ) и высокие показатели эффективности применения. Основу этих ТТТ в значительной мере составляют задаваемые ЛТХ будущей машины: масса груза, перевозимого на заданную дальность $m_{ц.н}$, масса экипажа $m_{эк}$, дальность полета L , статический потолок $H_{СТ}$, динамический потолок $H_{дин}$, максимальная скорость полета V_{max} .

Кроме летно-технических характеристик при проектировании учитывают также весовую категорию и основное назначение проектируемого вертолета, номенклатуру и габаритные размеры транспортируемых грузов.

К числу основных параметров вертолета, определяемых при его проектировании, относятся:

взлетная масса m_0 , кг;

диаметр несущего винта D , м;

удельная нагрузка на сметаемую несущим винтом площадь p , даН/Па;

мощность двигателя N , кВт, и энерговооруженность вертолета N_{0max} , кВт/даН;

заполнение несущего винта σ ;

окружная скорость концов лопастей (ωR , м/с, или частота вращения несущего винта n , мин⁻¹).

Основные параметры вертолета выбирают прежде всего из условия обеспечения заданных ЛТХ: массы целевой нагрузки $m_{ц.н}$, кг; дальности полета L , км; статического потолка $H_{СТ}$, м; динамического потолка $H_{дин}$, м; максимальной скорости полета V_{max} , км/ч; крейсерской скорости полета $V_{кр}$, км/ч.

1.2. Сбор, обработка и анализ статистических данных

Расчеты, связанные с выбором параметров и характеристик любого летательного аппарата, проводят на основе статистических данных. Поэтому при общем проектировании большое внимание уделяется их сбору, обработке и анализу.

Статистические данные должны содержать в хронологической последовательности информацию минимум о пяти вертолетах той же весовой категории, что и проектируемый. При этом предпочтение следует отдавать вертолетам, созданным в последние годы.

Параметры и характеристики вертолетов анализируемой выборки должны быть согласованы между собой. Недопустимо использование данных, относящихся к различным взлетным массам вертолетов; нельзя, например, представлять материалы, касающиеся варианта с максимальной полезной нагрузкой, а дальность полета принимать с дополнительным (за счет полезной нагрузки) количеством топлива и т.д.

Для обеспечения соответствия статистических данных исходным в пособии проведено условное деление вертолетов по взлетной массе на пять весовых категорий (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Весовые категории вертолетов

Весовая категория вертолета	Сверхлегкий	Легкий	Средний	Тяжелый	Сверхтяжелый
Взлетная масса вертолета, т	до 1,5	1,5...6,0	6...25	25...100	свыше 100
Типы вертолетов по весовым категориям	Ка-8	Ми-1	Ми-4	Ми-6	В-12
	Ка-10	Ми-2	Ми-8	Ми-10	
	Ка-15М	Ка-26	Ка-25К	Ми-10К	
	Ка-18	Ка-126	Ка-32	Ми-26	
	Ми-34	Ми-34М			

Статистические данные заносят в табл. 1.2. Кроме таблицы для каждого вертолета необходимо выполнить схему его общего вида в трех проекциях.

Таблица 1.2 – Параметры и характеристики вертолетов

Параметры и характеристики вертолетов	Обозначение	Единицы измерения	Вертолёты (прототипы)				Проектируемый вертолет
Общие данные							
Страна							
Назначение							
Год выпуска							
Тип производства (опытное или серийное)							
Источник							
Летные данные							
Максимальная скорость	V_{\max}	км/ч					
Крейсерская скорость	$V_{кр}$	км/ч					
Экономическая скорость	$V_{эк}$	км/ч					
Статический потолок	$H_{ст}$	м					
Динамический потолок	$H_{дин}$	м					
Продолжительность полета	t	ч					
Окружная скорость концов лопастей несущего винта	ωR	м/с					
Окружная скорость концов лопастей рулевого винта	$\omega_{рв} R_{рв}$	м/с					
Массовые характеристики							
Нормальная взлетная масса	m_0	кг					
Максимальная взлетная масса	m_{\max}	кг					
Масса пустого вертолета	$m_{пуст}$	кг					
Масса полной нагрузки	$m_{пн}$	кг					
Масса перевозимого груза	$m_{зр}$	кг					
Масса коммерческой нагрузки	$m_{ком}$	кг					
Масса экипажа	$m_{эк}$	кг					
Количество членов экипажа	$n_{эк}$						

Продолжение табл. 1.2

Параметры и характеристик и вертолетов	Обозначение	Единицы измерения	Вертолёты (прототипы)					Проектируемый вертолет
Количество пассажиров	$n_{псс}$							
Коэффициент весовой отдачи по полной нагрузке	\bar{K}							
Масса топлива	m_T	кг						
Масса оборудования	$m_{об}$	кг						
Данные силовой установки								
Тип двигателей								
Количество двигателей	$Z_{дв}$	шт						
Взлетная мощность двигателя при $H=0$ и $V=0$	$N_{дв}$	кВт						
Удельный расход топлива	$Ce_{взл}$	$\frac{кг \cdot топл}{кВт \cdot ч}$						
Геометрические данные								
Радиус несущего винта	R	м						
Радиус рулевого винта	$R_{рв}$	м						
Плечо рулевого винта	$L_{рв}$	м						
Плечо стабилизатора	$L_{см}$	м						
Число лопастей несущего винта	Z	шт						
Число лопастей рулевого винта	$Z_{рв}$	шт						
Ометаемая несущим винтом площадь	$F_{нв}$	м ²						

Окончание табл. 1.2

Параметры и характеристик и вертолетов	Обозначение	Единицы измерения	Вертолёты (прототипы)				Проектируемый вертолет
Площадь крыла	$S_{кр}$	м ²					
Площадь стабилизатора	$S_{ст}$	м ²					
Производные величины							
Удельная нагрузка	P	Н/м ²					
Коэффициент заполнения несущего винта	σ						
Удлинение лопасти НВ	λ						
Коэффициент заполнения рулевого винта	$\sigma_{рв}$						
Удлинение лопасти РВ	$\lambda_{рв}$						

При составлении статистической таблицы используют материалы следующих изданий:

- технические описания вертолетов;
- техническая информация (обзоры и рефераты ЦАГИ по материалам иностранной печати);
- экспресс-информация "Воздушный транспорт" (зарубежный опыт);
- отечественные журналы "Гражданская авиация", "Авиация и космонавтика", "Крылья Родины", "Зарубежное военное обозрение", "Вертолет" и др.;
- реферативные журналы ВИНТИ "Воздушный транспорт" (Авиастроение);
- иностранные журналы "Flugrevue", "Flight International";
- ежегодники "Flieger-Jahrbuch";
- справочники "Das grobe Flugzeugtupenbuch";
- справочники по вертолетам;
- экспресс-информация ВИНТИ "Авиастроение";
- справочный ежегодник "Janes all the world's aircraft" и др.

Анализ статистических данных позволяет:

- ознакомиться с летно-техническими, массовыми и геометрическими параметрами и характеристиками вертолетов и их агрегатов, параметрами силовых установок и др.;
- изучить накопленный опыт создания предшествующих

- конструкций вертолетов, их производство и эксплуатацию;
- получить представление о современном уровне развития вертолетостроения;
 - выявить тенденции и перспективы развития исследуемого класса вертолетов;
 - разработать ТТТ к проектируемому вертолету и т.д.

1.3. Разработка тактико-технических требований к проектируемому вертолету

Успешное проектирование вертолета возможно в том случае, если конструктор имеет четкое представление о стоящей перед ним задаче и знает, какими параметрами и характеристиками должен обладать проектируемый вертолет.

Ответ на эти вопросы дает изучение тактико-технических требований организации-заказчика, а в учебном процессе – разработка ТТТ на основе исходных данных на проектирование и результатов анализа статистических материалов.

В каждом случае, в зависимости от назначения вертолета и условий его применения, требования могут носить различный характер, но в них обязательно должна ставиться задача создания вертолета, имеющего более высокий уровень технических и экономических показателей по сравнению с существующими машинами такого же класса. При этом необходимо учитывать, что чрезмерность предъявляемых к вертолету требований приводит к ухудшению массогабаритных характеристик и, как правило, к снижению эффективности вертолета.

Весь комплекс требований содержится в техническом задании на проектирование вертолета, составляющем вместе с "Нормами летной годности гражданских вертолетов" (НЛГВ), "Авиационными правилами" (АП), ГОСТами, ОСТами и т.п. основные нормативные документы, регламентирующие процесс создания вертолетов.

Требования, предъявляемые к проектируемым вертолетам, условно можно разделить на две группы:

- общие требования, определяющие уровень технического совершенства вертолетов;
- специальные требования, позволяющие наиболее полно выполнить поставленные перед проектируемым вертолетом задачи.

Общие требования к вертолетам наиболее полно изложены в НЛГВ и АП [1].

Нормы летной годности вертолетов — это свод государственных требований к летной годности гражданских летательных аппаратов (ЛА), направленных на обеспечение безопасности полетов.

Требования к летной годности вертолетов так же, как и самолетов, основываются на нормировании вероятностей возникновения опасных для жизни людей катастрофических и опасных ситуаций при отказах различных агрегатов и бортовых систем.

В Нормах летной годности гражданских вертолетов устанавливаются требования к летным и взлетно-посадочным характеристикам вертолета в случае отказов функциональных систем при возможных изменениях летных характеристик в процессе эксплуатации.

Выполнение основных требований НЛГВ к следующим параметрам:

- обеспечению безопасности полета;
- летным характеристикам, устойчивости и управляемости вертолета;
- прочности конструкции вертолета;
- конструкции вертолета, его системам и агрегатам;
- двигателю, трансмиссии, системам и агрегатам;
- системам силовой установки и противопожарной защиты вертолета – обязательно при проектировании, производстве, испытаниях, сертификации, допуске к эксплуатации, ремонте, экспорте и импорте гражданской авиатехники, а также при разработке государственных и отраслевых стандартов, технических требований и заданий.

“Нормы летной годности винтокрылых летательных аппаратов транспортной категории” являются составной частью авиационных правил АП 29 [1].

Структура и содержание АП 29:

А — общие положения: применимость;

В — полет: общие положения, летные данные, полетные характеристики, характеристики управляемости на земле и на воде, разные летные требования;

С — требования к прочности: общие положения, нагрузки в полете, нагрузки на поверхности и системы управления, нагрузки на земле, нагрузки на воде, требования к основным элементам конструкции, условия аварийной посадки, оценка усталостной прочности;

Д — проектирование и конструкция: общие положения, винты, системы управления, шасси, поплавки и корпуса лодок, размещение людей и груза, пожарная защита, средства крепления внешнего груза, разное;

Е — силовая установка: общие положения, система привода винта, топливная система, агрегаты и элементы топливной системы, масляная система, система охлаждения, система подвода воздуха,

выхлопная система, органы управления и агрегаты силовой установки, пожарная защита силовой установки;

F — оборудование: общие положения, приборы и установка, электрические системы и оборудование, освещение, оборудование, обеспечивающее безопасность, оборудование различного назначения;

дополнение F — дополнительные требования по летной годности к оборудованию винтокрылого аппарата;

G — эксплуатационные ограничения и информация: эксплуатационные ограничения, маркировка и таблички, руководство по летной эксплуатации винтокрылого аппарата (РЛЭ);

приложение А — инструкции по сохранению летной годности;

приложение В — критерии летной годности винтокрылого аппарата для полета по приборам;

специальное авиационное правило №29-4 (САП №29-4): ограниченная эксплуатация винтокрылого аппарата по правилам полетов по приборам;

приложение С — сертификация в условиях обледенения;

приложение D — критерии к методам проведения демонстрации аварийной эвакуации согласно 29.803: временное дополнение из АП-91 и АП-135, общие эксплуатационные правила АП-91.

Специальные требования к проектируемому вертолету определяют его целевое назначение, летно-технические, эксплуатационные и технико-экономические характеристики, т.е. тактико-технические требования. В ТТТ содержатся все важнейшие характеристики будущего вертолета, включая его назначение, грузоподъемность, размеры грузовой кабины, число и тип двигателей, дальность или продолжительность полета на каком-то режиме, состав членов экипажа. Указываются также летные характеристики (статический и динамический потолки, крейсерская и максимальная скорости, скороподъемность, время набора рабочей высоты, дальность полета). Кроме летно-технических характеристик в ТТТ приведены требования эксплуатационного характера: требуемый ресурс основных агрегатов (общий и межремонтный), трудоемкость технического обслуживания, периодичность основных регламентных работ и т.п. В зависимости от назначения и класса вертолета в ТТТ задаются также специальные требования к условиям эксплуатации вертолета, специфическим режимам полета, составу оборудования и т.д. Таким образом, проектируемый вертолет (исключая конструктивные формы) полностью определяется задаваемыми тактико-техническими требованиями, которые наиболее полно изложены в техническом задании (ТЗ) на разработку нового вертолета, являющемся основным документом, определяющим проектно-конструкторскую проработку нового летательного аппарата.

В каждом случае в зависимости от назначения вертолета и условий его эксплуатации требования могут носить различный характер, но в них следует ставить задачу создания вертолета, имеющего более высокий уровень технических и экономических показателей по сравнению с показателями существующих машин того же класса.

В тактико-технических требованиях должны быть сформулированы и обоснованы [12] :

- назначение вертолета;
- основные и вспомогательные задачи, решаемые вертолетом;
- условия эксплуатации и применения;
- конкретные летно-тактические и технические характеристики;
- требования к составу экипажа.

Для облегчения обоснования требований ниже приведен их примерный перечень и указано краткое содержание вопросов, подлежащих разработке.

1.3.1. Назначение вертолета

Основное назначение вертолета указывают в исходных данных на проектирование. Здесь необходимо разработать и привести другие возможные варианты применения вертолета, а также обосновать целесообразность его создания и кратко описать условия эксплуатации.

1.3.2. Нагрузка

Масса перевозимого вертолетом груза задается исходными данными. В нагрузку включают все виды грузов, для перевозки которых предназначен вертолет. В нее входят транспортируемые грузы со швартовкой и сопровождающими лицами, пассажиры, носилки с больными, медицинский персонал, почта, багаж и пр. Часто в публикациях вместо массы перевозимого груза употребляют синонимы – "целевая нагрузка", "платная нагрузка", "коммерческая нагрузка".

1.3.3. Экипаж

Состав летного экипажа обусловлен назначением вертолета, условиями базирования и применения. Масса экипажа (летчики, штурманы, бортрадисты, бортмеханики, бортоператоры, бортпроводники и другие члены экипажа с личным снаряжением) определяется исходными данными. Она является служебной нагрузкой, которая включает в себя также массы съемных и

сбрасываемых частей оборудования, конструкции и силовой установки, расходуемых технических жидкостей и веществ, съемного баласта, продуктов и воды, кухни (буфета), туалета.

1.3.4. Летные характеристики

Летные характеристики вертолета задаются обычно следующими исходными данными:

1. *Дальность (продолжительность) полета.* Расчетная дальность полета определяется назначением и вариантами применения проектируемого вертолета. Необоснованно завышенные требования к дальности полета могут повлечь за собой перетяжеление вертолета и ухудшение его маневренных свойств.

Для расчета потребного объема топливных баков при длительном полете необходимо указать перегоночную или максимальную дальность при соответственно сниженной нагрузке. В ряде случаев следует задавать не дальность, а продолжительность полета на определенном режиме.

2. *Высота статического и динамического потолков.* Высоту статического и динамического потолков вертолета назначают на основе изучения географических характеристик тех районов, где его применяют и базируют.

Как и при выборе дальности полета, не рекомендуется принимать необоснованно завышенные значения высот.

В тех случаях, когда вертолет предполагают эксплуатировать в горной местности, можно задавать статический потолок с учетом влияния близости земли.

3. *Максимальная скорость полета.* Максимальную скорость полета следует назначать с учетом статистических данных о вертолетах предполагаемой схемы. Нужно иметь в виду, что максимальная скорость современных вертолетов в большинстве случаев определяется не располагаемой мощностью силовой установки, а ограничениями, накладываемыми аэродинамическими особенностями несущих винтов. Поэтому для получения высоких скоростей полета следует применять специальные конструкции несущих винтов или другие схемные решения (вертолет с крылом, вертолет с убирающимся шасси, комбинированный вертолет и т.п.).

Одновременно с максимальной скоростью должна быть указана расчетная высота полета на этом режиме.

1.3.5. Устойчивость, управляемость и маневренность

Требования к устойчивости, управляемости и маневренности определяются назначением вертолета и могут оказать влияние на выбор его схемы, оборудования, а также конструкций системы

управления и несущего винта.

1.3.6. Безопасность полета

Обеспечение безопасности полета является основным и безусловным требованием к любому летательному аппарату. При наличии у вертолета двух и более двигателей оно удовлетворяется. В этом случае задают требование выполнения горизонтального полета с одним остановленным двигателем на высоте, которая должна быть не ниже определенной. Эта высота назначается с учетом рельефа местности и должна превышать высоту возможных посадочных площадок в основных районах его базирования. Дополнительно указывают и обосновывают:

- минимально допустимую скорость при вертикальном взлете V_{y_e} ;
- максимально допустимую вертикальную составляющую скорости приземления при снижении вертолете на режиме самовращения несущего винта $V_{y_{пл}}$

1.3.7. Оборудование

Кроме обязательного (стандартного) комплекта пилотажно-навигационных приборов и приборов контроля работы силовой установки и трансмиссии на вертолет в зависимости от его назначения может устанавливаться самое разнообразное радиоэлектронное и специальное оборудование. Желательно иметь перечень оборудования с указанием масс.

1.3.8. Требования к конструкции и эксплуатационной технологичности

Здесь должны быть освещены:

- конструктивно-силовые схемы и применяемый материал основных элементов конструкции;
- условия обзора из кабины экипажа, компоновка грузовых отсеков и обеспечение жизнедеятельности экипажа;
- требования к габаритным размерам отдельных частей вертолета, обеспечивающие возможность его перевозки наземными или другими видами транспорта.

Значительное внимание должно уделяться требованиям эксплуатационной технологичности, определяющим приспособленность конструкций к техническому обслуживанию и ремонту в условиях эксплуатации: доступность к узлам и агрегатам, легкосъемность и взаимозаменяемость, автоматический контроль и

т.д. Оговаривают также требования к загрузке и разгрузке грузов, перевозимых в грузовой кабине или на внешней подвеске, к фиксации груза во время полета.

Требования к пассажирским кабинам определяются соответствующими санитарно-техническими нормами.

1.3.9. Прочность. Ресурс агрегатов

Требования к статической и динамической прочности конструкции должны соответствовать нормам прочности вертолетов. При выборе требований к ресурсу основных агрегатов следует исходить из уровня, достигнутого отечественными конструкторскими бюро и зарубежными вертолетостроительными фирмами с учетом конструктивных и технологических особенностей, позволяющих обеспечить выполнение задаваемых требований.

1.4. Выбор и обоснование схемы вертолѐта

Вертолеты классифицируют главным образом по способу уравнивания реактивного момента НВ. В соответствии с этим различают следующие схемы вертолетов: одновинтовые с рулевым винтом, двухвинтовые (соосная, продольная и поперечная) и многовинтовые.

В практике мирового вертолетостроения наибольшее распространение получили вертолеты одновинтовой схемы (около 95%). Такое однообразие схемного парка вертолетов объясняется, видимо, тем, что на современном этапе развития авиационной науки и техники достоинства одновинтовой схемы оказываются весомее недостатков и преимуществ других схем вертолетов.

Меньшее распространение в отечественном вертолетостроении получила соосная схема, в зарубежном – продольная.

Поперечная и многовинтовая схемы вертолетов широкого распространения в вертолетостроении пока не получили.

Выбор схемы вертолета из отмеченного их многообразия определяется, очевидно, назначением летательного аппарата, потребной эффективностью его применения, необходимостью первоочередного выполнения тех или иных ТТТ, их противоречивостью, а также непрерывным развитием возможностей удовлетворения этим требованиям. Выбранная схема вертолета и его параметры должны отвечать также некоторому критерию оценки.

В зависимости от основного назначения вертолета при его проектировании предпочтение отдается тому или иному критерию, например: максимальной надежности и экономичности в эксплуатации, простоте конструкции и низкой стоимости вертолета, большой дальности полета или длительному висению и малой

скорости и дальности и т.д. Однако во всех случаях остается обязательным выполнение условия обеспечения минимальной взлетной массы вертолета.

Сравнение статистических данных вертолетов легкой и средней весовых категорий одновинтовой и соосной схем показывает, что по своим характеристикам они различаются не столь существенно, чтобы можно было выделить лучшую схему. Это подтверждает тезис о возможности создания вертолета по разным схемам с близкими характеристиками на одно и то же задание [6]. Однако этот вывод нельзя распространять на вертолет продольной схемы, так как создание последнего сопровождается ростом взлетной массы и увеличением потребной мощности силовой установки.

В этих условиях отсутствие прецедента создания вертолета соосной схемы в тяжелой весовой категории позволяет предположить, что одновинтовая схема может быть целесообразной и для вертолетов большей размерности. Примером может служить опыт создания самого грузоподъемного в мире серийного вертолета Ми-26 (взлетная масса – 52 т; масса груза, перевозимого в фюзеляже и на внешней подвеске, – 20 т).

Приведенные соображения, естественно, не дают рецепта выбора "лучшей" схемы вертолета, ибо окончательный выбор схемы проводят из конкурирующих вариантов схем на основе оптимизации и последующего всестороннего анализа каждого из них. Критерием выбора "лучшего" варианта схемы вертолета могут быть только комплексные оценки типа критериев "эффективность – стоимость". В качестве оценочного критерия выбора схемы можно принимать взлетную массу, а в качестве ограничений – ЛТХ, задаваемые ТТТ, и другие факторы.