

**И.П. Братухин**

# **Проектирование и конструкции вертолетов**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 656  
ББК 39.1  
И11

И11 **И.П. Братухин**  
Проектирование и конструкции вертолетов / И.П. Братухин – М.: Книга по Требованию, 2024. – 369 с.

**ISBN 978-5-458-43168-2**

В книге изложены вопросы проектирования вертолета и его основных частей. Дана методика выбора и определения основных параметров и размеров вертолета. Рассмотрены общие соображения по компоновке и центровке вертолета и приведены примеры компоновок вертолетов различных схем. Кроме того, книга содержит анализ основных схем вертолетов, таблицы статистических данных уже построенных вертолетов и описание конструкции отдельных частей вертолета (лопастей, втулок и демпферов несущих винтов, автоматов перекосов, хвостовых винтов, трансмиссии, силовых установок, посадочных устройств и др.) Описаниям конструкции предпосланы сведения о назначении частей вертолета и требованиях, предъявляемых к ним. Книга рассчитана на студентов авиационных институтов и инженеров, работающих в области вертолетостроения.

**ISBN 978-5-458-43168-2**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2024  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



ЧАСТЬ I

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТОЛЕТОВ

---

*Глава I*

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТОЛЕТОВ

### § 1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕРТОЛЕТОВ

Проектирование вертолета — творческий инженерный труд, в процессе выполнения которого приходится решать много сложных задач, относящихся к различным областям авиационной техники.

По своей принципиальной сущности вертолет как летательный аппарат с большим диапазоном летных режимов не может быть конструктивно простым; он насыщен большим количеством сложных механических агрегатов. Конструктивные схемы вертолетов в настоящее время очень разнообразны и практикой пока еще наиболее удачные из них окончательно не выявлены. Статистика построенных аппаратов, являющаяся фундаментом при проектировании в области вертолетов, весьма ограничена. (Некоторые схемы вертолетов пока еще насчитывают не более одного или двух прототипов.) Если к этому добавить, что многие вопросы аэродинамики, динамики полета, динамической прочности вертолета находятся еще в стадии изучения и исследования, то станет ясно, что процесс проектирования вертолета действительно чрезвычайно сложен и требует от конструкторов большой изобретательности и обширных проектных изысканий.

Основной задачей при проектировании вертолета является правильный выбор его схемы, двигателя, типа трансмиссии, параметров несущего винта и размеров других частей вертолета, обеспечивающих достижение заданных летных данных.

Одним из главных показателей хорошего вертолета является его надежность в эксплуатации, поэтому вопросам статической и динамической прочности при проектировании должно быть уделено исключительное внимание. Нужно стремиться исключить недопустимые вибрации и обеспечить нормальный износ трущихся частей. При проектировании необходимо также предусмотреть меры устранения различного рода вибраций, которые могут выявиться уже при летных испытаниях.

Спроектированный вертолет должен обладать специфическими летными свойствами, т. е. вертикально взлетать, висеть на одном месте и перемещаться с заданной горизонтальной скоростью. При этом надо принять во внимание чувствительность вертолета на вертикальных режимах к увеличению взлетного веса и к изменению атмосферных условий. При выборе двигателя и назначении полезной нагрузки все это надо учесть. Были случаи, когда перетяжеленный всего на 10% вертолет уже не мог вертикально взлетать и садиться или в жаркий летний день при пониженном атмосферном давлении вертолет переставал выполнять эти режимы к огорчению конструктора, который проектировал его по стандартным условиям и не предусмотрел необходимого запаса мощности. В таком случае вертолет оказывается сезонной машиной. Двигатель, недодающий нескольких процентов мощности на самолете, незначительно снижает летные характеристики его, тогда как в случае вертолета, если двигатель потерял, скажем, 10—15% мощности, вертолет уже не в состоянии выполнить все свои основные режимы.

Управление вертолетом должно быть достаточно легким, а техника пилотирования достаточно простой и доступной летчику средней квалификации.

Опытный образец вертолета надо проектировать, принимая во внимание возможность постройки его в большой серии, поэтому технологии изготовления его должно быть уделено большое внимание. Нужно сделать необходимое число технологических разъемов, как того требует современное авиационное производство, обеспечить простоту изготовления и контроля, взаимозаменяемость деталей и агрегатов, свести к минимуму сортамент применяемых материалов, т. е. сделать все возможное для удешевления вертолета.

При проектировании нужно учесть и требования эксплуатации: обеспечить хороший подход для осмотра и демонтажа двигателя, редукторов, валов и других механических агрегатов, для пассажиров создать необходимые удобства — изолировать их от шума, газов и вибрации. Экипаж должен иметь хороший обзор. Необходимо предусмотреть аварийное беспрепятственное покидание кабины вертолета. Для транспортных и грузовых вертолетов нужно создать хорошие условия загрузки и выгрузки. Для санитарных и спасательных вертолетов предусмотреть удобное размещение носилок и подъемной лебедки.

На вертолеты, предназначенные для полета над городами и населенными пунктами, необходимо ставить шумо-пламегасители. Нужно принять во внимание, что шум на вертолете создается в основном выхлопом двигателя; несущий винт вертолета в отличие от пропеллера самолета не создает большого шума. Шумовой эффект от выхлопа на вертолете на режимах малой скорости или висения очень значителен. Шум от самолета наблюдатель слышит кратковременно, тогда как вертолет может на режиме висения длительно «трещать».

Для возможности эксплуатации зимой и летом, а также в разных климатических условиях требуется применение незамерзающих жидкостей и смазки, установка противообледенительных устройств, подогрев двигателя и смотровых лобовых стекол кабины, установка пылеулавливателей во всасывающей патрубке двигателя.

Перевозка и хранение также должны быть учтены при проектировании.

При проектировании вертолета специального назначения следует отразить специфику тактико-технических требований к нему.

В некоторых областях применения вертолета большое значение имеет экономичность эксплуатации; в этом случае необходимо при проектировании добиться наибольшей весовой отдачи, а именно максимальной платной нагрузки и большой дальности полета при том же расходе топлива. Здесь даже уместно допускать перегрузку вертолета; при этом вертикальный взлет может производиться до высоты всего в несколько метров и далее набор высоты происходит с поступательной скоростью (конечно, если рельеф местности позволяет это делать и соблюдены требования безопасности).

Ресурс современного вертолета пока еще недостаточен. Задачей конструкторов является резкое его увеличение. Нужно, чтобы трансмиссия, несущий винт могли работать надежно длительное время, равное двум-трем ресурсам двигателя, хотя бы с условием периодической замены наиболее изнашивающихся деталей. В связи с этим проектирование должно сопровождаться длительными испытаниями всех вращающихся и трущихся агрегатов с целью добиться их надежности в эксплуатации до выработки нужного ресурса.

Конструктор, проектируя вертолет по схеме уже существующих однотипных вертолетов, должен стремиться к тому, чтобы летно-технические данные вертолета его конструкции были выше, чем у существующего однотипного вертолета. Проект нового вертолета всегда должен являться шагом вперед в области развития вертолетов, он обязательно должен содержать в себе те или другие нововведения и усовершенствования.

## § 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЕРТОЛЕТАМ

Технические требования (т. т.) к вертолету составляются исходя из назначения вертолета и должны соответствовать летно-техническим характеристикам, возможностям вертолета и нуждам эксплуатации. В технических требованиях должно быть указано назначение вертолета, тип двигателя и количество их, полезная нагрузка, экипаж, дальность на крейсерской скорости или продолжительность полета на каком-то определенном режиме. Также должны быть указаны летные характеристики: максимальная скорость горизонтального полета на рабочей высоте, статический и динамический потолок, скороподъемность при вертикальном полете, время подъема на рабочую высоту. Помимо летных характеристик, в них может содержаться ряд требований эксплуатационного характера.

Полезную нагрузку задают в виде перечня, в котором указывают состав экипажа, число пассажиров, багаж, вес груза и объем его, съемное оборудование и т. п.

Многое из оборудования берется по аналогии с самолетом, но кроме того, нужно включить дополнительное оборудование, свойственное только вертолету. Для ночных полетов, для полетов на малых скоростях для вертолета требуется оборудование, несколько отличное от самолета. Нужно считать обязательным устанавливать на транспортные и пассажирские вертолеты не менее двух двигателей. На многоцелевых и сельскохозяйственных вертолетах желательно иметь два двигателя, но допускается установка и одного при удовлетворительных характеристиках авторотации и при условии безопасной посадки на авторотирующих несущих винтах.

При двух двигателях на вертолете обязательной является возможность полета с одним работающим двигателем на экономической скорости без снижения. При использовании максимальной мощности одного двигателя скороподъемность должна быть не менее 1 м/сек. Это повышает безопасность полета, так как остановка одного двигателя не приведет к вынужденной аварийной посадке, как это будет с одномоторным вертолетом, если у него двигатель остановится над местностью, не имеющей подходящих открытых площадок для посадки с планирования. Остановка одного двигателя не должна мешать нормальной работе другого.

Общую часть т. т. нужно брать по аналогии с самолетом, с учетом особенностей вертолета. В т. т. желательно указывать допустимые вибрации для вертолета (по частоте и по амплитуде). Исключить вибрации полностью невозможно, так как на вертолете всегда имеются периодические силы от несущего винта, двигателя и других вращающихся частей. Нужно стремиться получать допустимые виброхарактеристики на отдельных частях вертолета, не опасные для их прочности.

Требования в отношении устойчивости и хорошей управляемости записываются в самой общей форме, так как пока еще нет окончательно установленных критериев устойчивости и управляемости вертолета.

В технических требованиях должен быть указан ресурс трансмиссии. Более длительный ресурс повышает надежность вертолета. Предельные температурные условия эксплуатации также надо указывать, чтобы учесть их при проектировании системы смазки и гидросистем вертолета. Желательно отразить требование установки автоматов на вертолете. К таким автоматам могут быть отнесены: регулятор постоянного числа оборотов, несущего винта, автопилот и др.

Следует оговорить удобства для пассажиров, размещение спецоборудования, обогрев и вентиляцию пассажирского помещения и т. д.

Проектируемый вертолет в основных чертах (исключая конструктивные формы) полностью определяется техническими требованиями, в особенности указанием назначения, характером полезной нагрузки. Зная это, можно иметь представление об условиях работы и основных особенностях вертолета.

### § 3. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование вертолета выполняется по этапам. Установившаяся практика проектирования самолета полностью применима к вертолетам. Здесь мы видим те же этапы, хотя содержание их имеет свою специфику. Весь процесс проектирования можно разбить на следующие этапы: 1) эскизный проект, 2) предварительный проект с постройкой макета и 3) исполнительный проект или изготовление рабочих чертежей. Эти этапы не разграничены резко между собой, они перекрывают друг друга.

Эскизный проект вертолета дает отправной материал для последующих этапов проектирования. В задачу эскизного проекта входит обеспечение летно-технических характеристик вертолета, заданных техническими требованиями, путем правильного выбора основных параметров и размеров вертолета. Основной частью эскизного проекта является компоновка вертолета. Исходным материалом для эскизного проекта служат т. т. и статистика существующих вертолетов данной схемы.

На этом этапе можно пользоваться приближенными методами определения летных характеристик вертолета. Для изыскания оптимальных параметров и рациональных размеров вертолета делается ряд последовательных вариантов эскизного проекта с различными параметрами с целью получения при данном двигателе или данных двигателях лучших летно-технических данных.

Предварительный проект. После утверждения эскизного проекта, учитывая замечания заказчика, выполняют предварительный проект. На этом этапе делают теоретические чертежи каркасных конструкций, производят расчет на прочность, подбирают размер силовых сечений, уточняют центровку. На основании расчетов в компоновочном чертеже делают необходимые исправления. На этой стадии проектируют и строят макет, на котором происходит увязка всех частей. На макете проверяют удобство размещения экипажа, пассажиров, груза, размещение управления и приборного оборудования, проверяют обзор из пилотской кабины. На макете обязательно нужно сделать всю проводку управления и разместить трансмиссию для проверки проходимости и удобства подхода ко всем узлам. Во время предварительного проекта, после уточнения центровки, кроме уточненного аэродинамического расчета, нужно провести расчет продольной статической устойчивости, вычисление балансировочных кривых для всех режимов полета. Также нужно проделать поверочные расчеты: а) крутильных колебаний системы

двигатель—трансмиссия—несущий винт; б) автоколебаний на земле и в полете и в) другие расчеты для обнаружения возможных резонансных колебаний с целью их предупреждения. Для уточнения расчета (а иногда без этой работы невозможно правильно определить некоторые летные характеристики) производят исследования экспериментального характера — испытывают в аэродинамической трубе модели вертолета и его отдельных частей (фюзеляжа, несущего винта и т. д.). Изготавливают опытные агрегаты, узлы для проверки технологии изготовления и для испытания на прочность. При разработке предварительного проекта проектируют основные части вертолета, вычерчивают общие виды агрегатов трансмиссии (редукторов, муфт, валов и т. д.), втулки, управления и других основных частей вертолета.

Исполнительный проект или изготовление рабочих чертежей. На этом этапе происходит конструктивная разработка узлов и частей вертолета и изготовление рабочих чертежей. Одновременно с изготовлением чертежей делают расчет на прочность узлов и деталей по действующим нормам прочности. Ответственные узлы и детали, такие, как, например, крепление лопастей, движущиеся детали управления, изготавливают и испытывают на динамическую прочность. Испытывают и определяют характеристики гидравлических силовых цилиндров, демпферов лопастей. В процессе проектирования большое значение имеет весовой контроль. Он заключается в сравнении и увязке проектного веса с весом, полученным при подетальном теоретическом подсчете весов по чертежам. Для вертолета весьма неприятно по последствиям перетяжеление, но даже и перераспределение веса также нежелательно из-за перемещения ц. т. по сравнению с его проектным положением. Предупреждение и устранение этого расхождения является задачей весового контроля.

Каркасные конструкции силовых частей вертолета проходят статические испытания на нагрузки, соответствующие нормам прочности вертолетов. Испытаниям динамическим (на усталость) обязательно подвергают лопасти, крепления их к втулке, демпферы, части трансмиссии и управления и др. детали, работающие при переменных нагрузках.

## Глава II

### ОБЗОР И АНАЛИЗ СХЕМ ВЕРТОЛЕТОВ

В настоящее время выявилось несколько схем вертолетов, которые чаще всего осуществляются в современных конструкциях и имеют перспективу на дальнейшее развитие. Почти все построенные и успешно оставшие вертолеты с механическим приводом выполнены по этим схемам. К ним относятся:

1. Одновинтовая схема с рулевым хвостовым винтом.

2. Двухвинтовая поперечная схема.
3. Двухвинтовая продольная схема.
4. Соосная схема.
5. Схема с перекрещивающимися винтами.
6. Многовинтовая схема (трех- и четырехвинтовая).

Кроме указанных схем, имеются:

7. Схема реактивного вертолета.
8. Схемы комбинированных вертолетов.
9. Схемы вертолетов-самолетов.

Комбинированные вертолеты и вертолеты-самолеты могут быть либо с механическим, либо с реактивным приводом несущего винта.

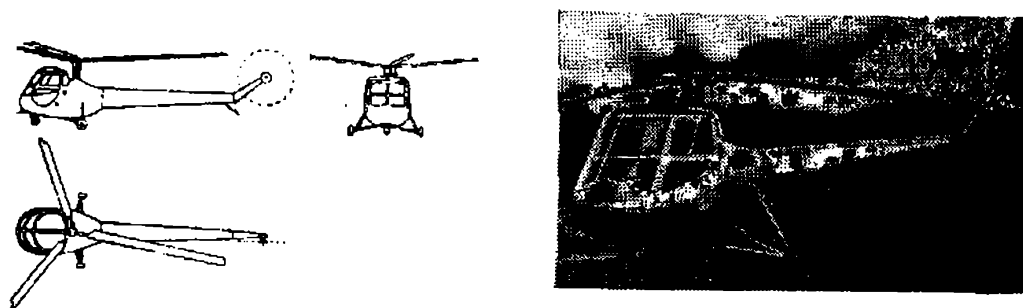
Внутри каждой из перечисленных схем возможны варианты в зависимости от числа и размещения двигателей, типа несущей системы, положения рулевого винта, схемы управления и т. п.

Различные способы уравнивания реактивного крутящего момента несущего винта в вертолете с механическим приводом, как увидим далее, создают различные схемы вертолета. Способ погашения реактивного крутящего момента в основном определяет схему вертолета.

Мы не будем рассматривать здесь всех возможных схем вертолетов, опубликованных в литературе, и остановимся только на тех схемах, по которым строятся вертолеты в настоящее время.

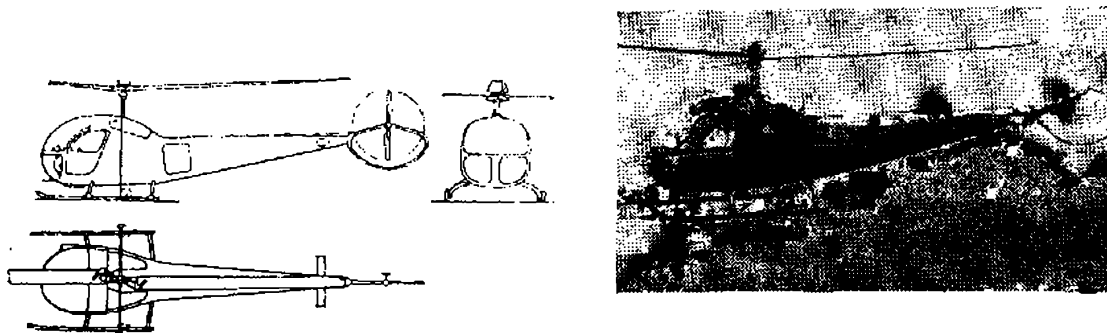
### § 1. ОДНОВИНТОВАЯ СХЕМА С ХВОСТОВЫМ ВИНТОМ

Предложенная в 1911 г. академиком Б. Н. Юрьевым одновинтовая схема вертолета с хвостовым рулевым винтом получила благодаря своей относительной простоте наибольшее распространение. Большая часть серийных вертолетов построена по одновинто-

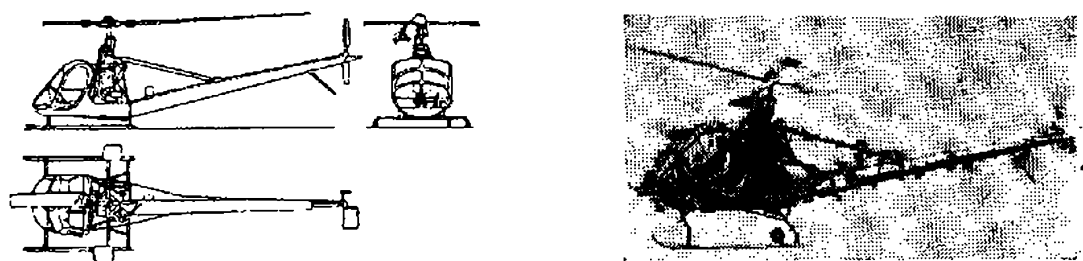


Фиг. 6. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, двухместный, взлетный вес 1000 кг.

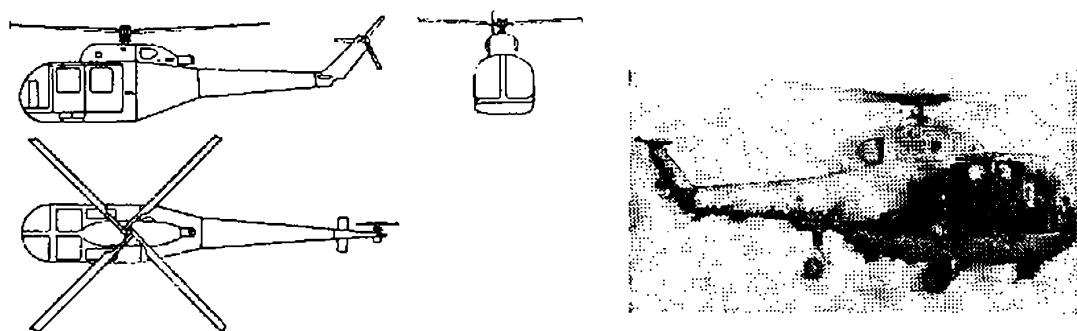
вой схеме. Реактивный крутящий момент несущего винта в такой схеме уравнивается моментом, создаваемым тягой хвостового винта, на привод которого тратится 7—10% мощности двигателя. На фиг. 6—15 показаны вертолеты этой схемы, различные по внешним формам и размерам.



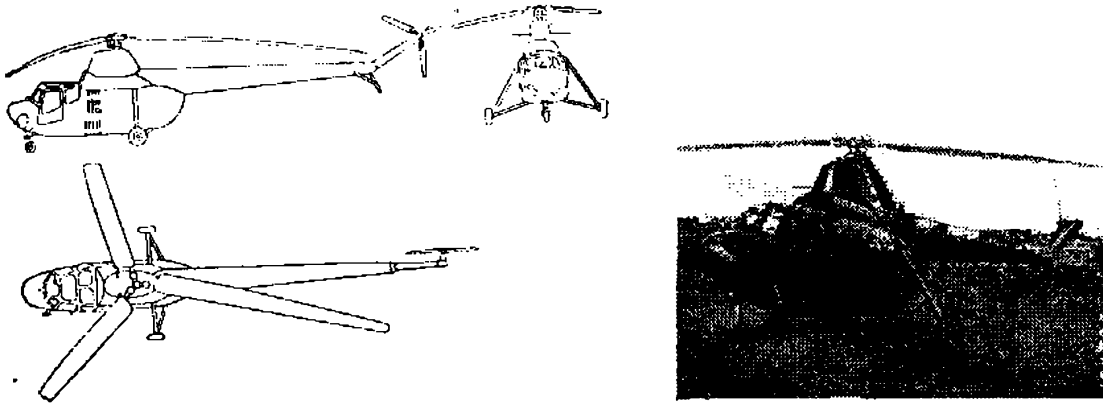
Фиг. 7. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, трехместный, взлетный вес 1070 кг.



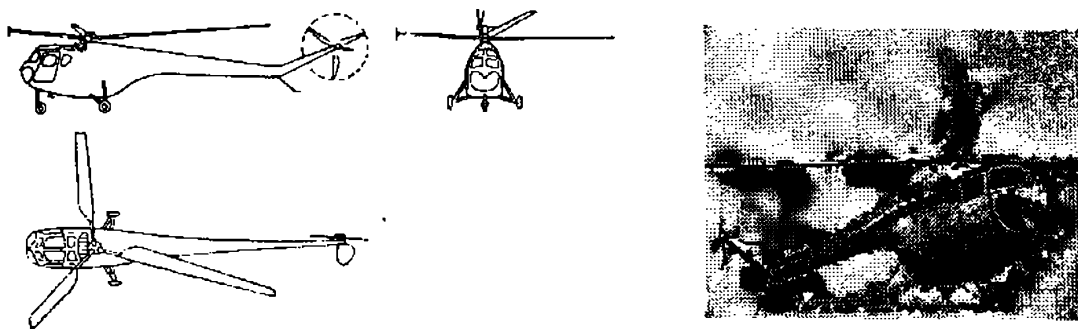
Фиг. 8. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, трехместный, взлетный вес 1135 кг.



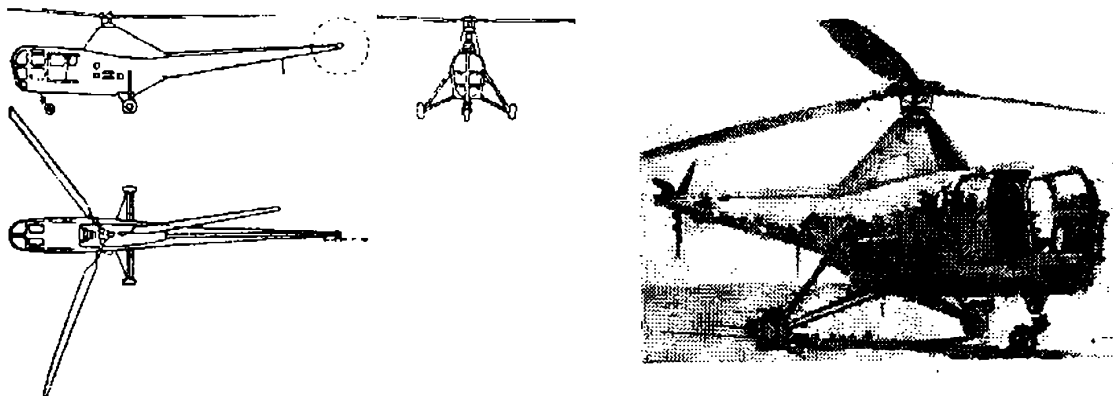
Фиг. 9. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, четырехместный, взлетный вес 1600 кг.



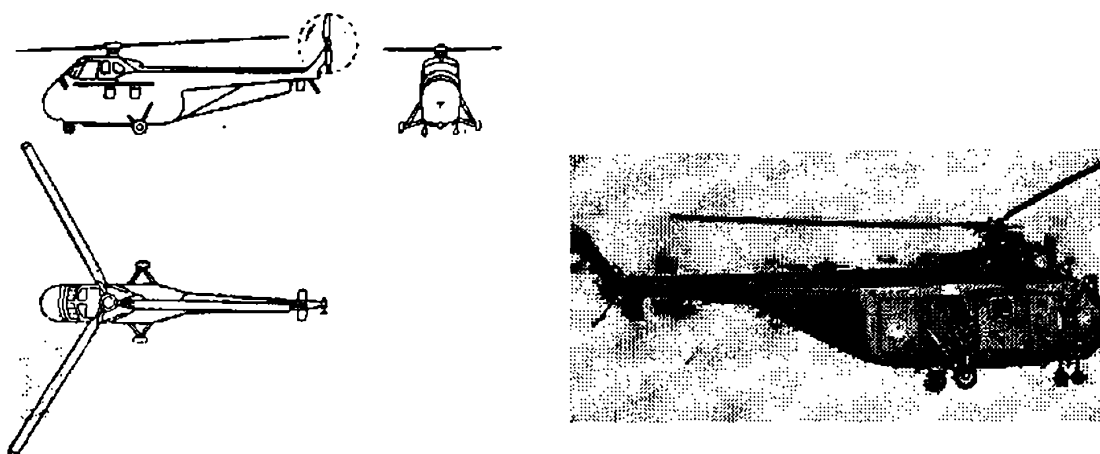
Фиг. 10. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, трехместный, взлетный вес 2240 кг.



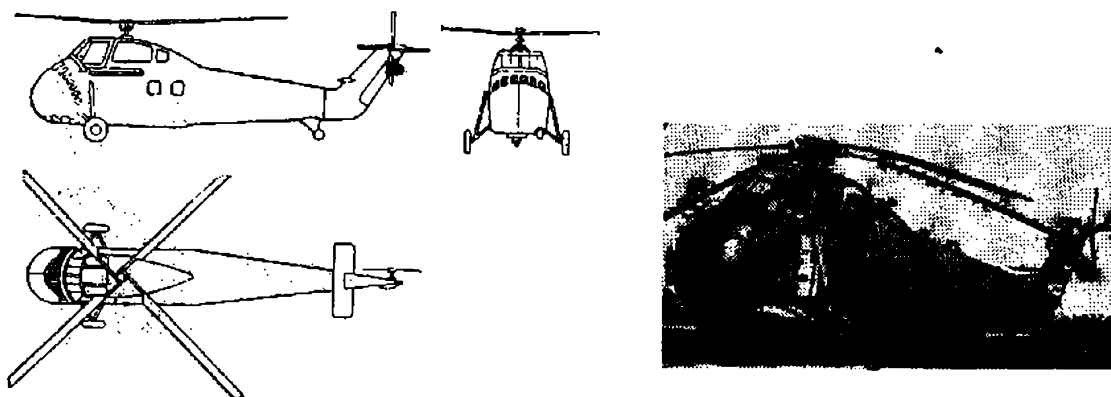
Фиг. 11. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, четырехместный, взлетный вес 2360 кг.



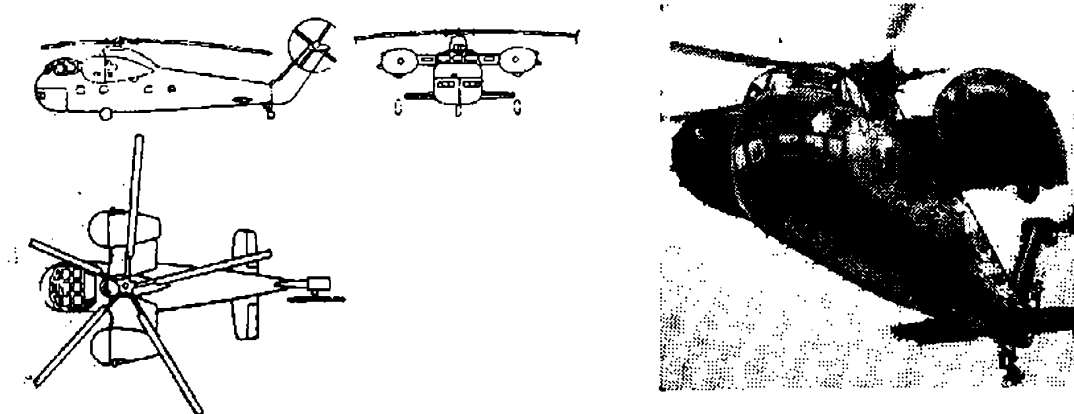
Фиг. 12. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, четырехместный, взлетный вес 2500 кг.



Фиг. 13. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, 10-местный, взлетный вес 3130 кг.



Фиг. 14. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, 15-местный.



Фиг. 15. Одновинтовой вертолет с хвостовым винтом, 26-местный, взлетный вес 13 000 кг.