



Данная работа является не только результатом моего собственного опыта, но и переводом материалов одной американской статьи по авторотации. Эти материалы нам дал старейший пилот BELL TRAINING ACADEMY. К сожалению, я не знаю источника и автора, поэтому не могу предоставить читателю грамотную ссылку. Все, что я нашел в интернете похожего, можно увидеть здесь: <http://www.dynamicflight.com/aerodynamics>

Я заранее прошу прощения у автора, соотношение моего и авторского текста примерно 60/40. Почти все рисунки взяты из оригинальной статьи.

ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ И УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

В этом выпуске Бюллетеня мы хотели бы познакомить вас с авторской статьей одного из самых уважаемых в вертолетном мире человека, мастера спорта по вертолетному спорту, кандидата физико-математических наук, почетного члена вертолетного клуба «Аэросоюз», энтузиаста вертолетного движения России и просто замечательного человека - Максима Анатольевича Сотникова.

Текст статьи любезно предоставил автор для публикации в очередном Бюллетене по БП. Приводим текст сопроводительного письма к статье, призывающий коллег-вертолетчиков к дискуссии на тему авторотации на вертолете Robinson R44:


«В Рождественские каникулы была плохая погода, летать было почти нельзя и я, от безделья, начал размышлять и писать статью. Про авторотацию. Как и чем эффективно можно управлять, если не работает двигатель. Потом увлекся. И три недели по вечерам серьезно над ней работал. Прочитал много статей в интернете, много перевел из американской прессы. Нашел картинки. Перевел. Стал описывать свои действия во время авторотации. Мы с Олегом Пуоджюкасом авторотируем всегда на тренировках. Так, для интереса. Посмотреть куда долетит «ласточка» при различных скоростях.

Получилась статья «для пешеходов» - так обычно называются физические статьи на качественном уровне.

Много помогла Наташа (от ред.: супруга - Наталья Андреевна). И с переводами и с более правильными толкованиями некоторых ситуаций.

Хочу опубликовать в Интернете. Аналогичных статей в русской прессе не видел. Видел более серьезные на математическом уровне. Понять ничего нельзя даже кандидату наук.

От вас хочу только одного ответа: можно ли показать «на свет», нет ли очевидных ляпов? Хотя статья предназначена для обсуждения. Может быть кому и пригодится?

Максим Сотников. 

ПЛАНИРОВАНИЕ И ВЕРТИКАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ СНИЖЕНИЯ ПРИ АВТОРОТАЦИИ

ВСТУПЛЕНИЕ

Авторотация (др.-греч. αὐτός — сам; лат. rotatio — вращение) — режим вращения воздушного винта летательного аппарата или турбины двигателя, при котором энергия, необходимая для вращения, отбирается от набегающего на винт потока. Термин появился между 1915 и 1920 годами в период начала разработок вертолётов и автожиров и означает вращение несущего винта без участия двигателя.

К моему огорчению, часть молодых пилотов вертолетов из тех, кто прошел обучение на пилотирование вертолета в России, считают авторотацию наивысшим уровнем мастерства пилота и поэтому с огромной боязнью и пиететом относятся к этому слову. К счастью, это не так. Авторотация, как и полет при включенном двигателе, является одним из элементов полета, и к нему и надо относиться, как одному из (!) элементов пилотирования, который доступен при полете на вертолете. Аналогичный процесс - планирование на самолете при отказе двигателя. Более того, в случае с вертолетом все значительно проще: для безопасной посадки достаточно иметь небольшой кусочек относительно ровной земли. Для самолета все-таки нужна взлетно-посадочная полоса или 300-400 метров ровного поля. На самолете можно погасить до нуля горизонтальную скорость только на земле. На вертолете – возможно в воздухе.

В иностранных пилотажных школах авторотации учат практически с первых полетов (конечно, без выключения двигателя), тем самым прививают курсанту умение «не бояться» авторотации и использовать этот элемент пилотирования в необходимых случаях. Тем, кто занимается вертолетным спортом, часто приходится входить и выходить из режима авторотации для быстрого снижения и достижения требуемой высоты полета. Мои товарищи из Сборной России по вертолетному спорту мастерски владеют этим видом пилотирования, и многие почти с любой высоты могут сесть на авторотации в квадрат 1x1 метр.

Прежде чем перейти к сути самой статьи, хотел бы сделать несколько важных, на мой взгляд, замечаний как для молодых курсантов, так и для опытных инструкторов (в российской прессе и Рунете я пока не встречал исчерпывающей статьи



по авторотации на качественном уровне).

Конечно, существуют десятки и сотни математических диссертаций по описанию этого явления. Но еще раз повторю для будущих критиков моей статьи: я не пытался представить математическую и динамическую модели авторотации. Все мои (как и авторов американской статьи) размышления представлены только на качественном уровне. Прочитав этот материал, вы не научитесь авторотировать, но сможете понять, как вам следует себя вести во время авторотации (разгонять или притормаживать вертолет) при различной воздушной скорости и в зависимости от вашего положения относительно точки приземления.

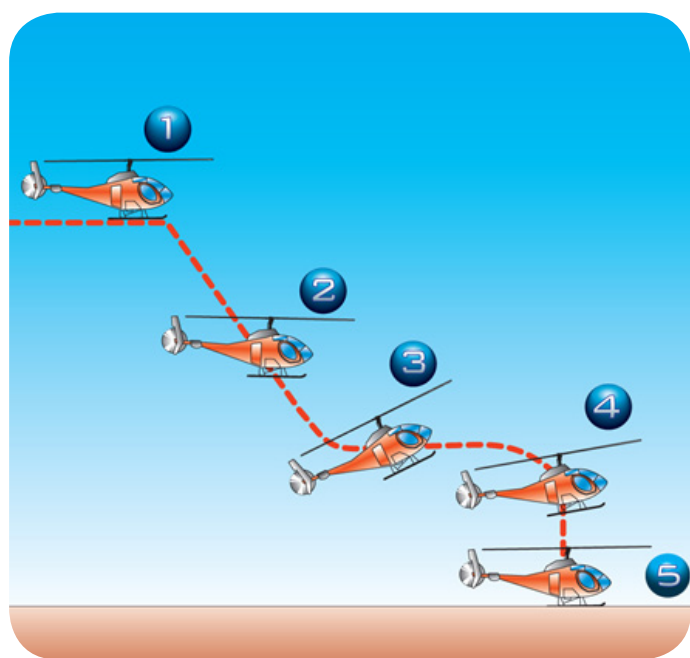
ЗАМЕЧАНИЯ СОТНИКОВА

- 80% всех инцидентов во время авторотации случается во время тренировок.
- 80% успеха во время отказа двигателя зависит не столько от вашего умения и натренированности точно авторотировать, сколько от вашего умения

заранее правильно выбирать маршрут полета и безопасную высоту, правильно балансировать и не перегружать вертолет, помнить во время полета, откуда дует ветер, и быть готовым в любой момент войти в авторотацию и не растеряться.

- На мой взгляд и опыт (я дважды реально был вынужден авторотировать), вполне достаточно 1-2 часа в месяц посвящать поддержанию навыков авторотации с опытным инструктором.
- Надо обязательно тренировать авторотацию, но делать это разумно, без фанатизма, понимая, что происходит на каждом этапе полета.

Итак, сам процесс авторотации делится на пять (мое частное предложение) основных элементов-этапов (см. рисунок):



1. Получение информации о падении оборотов несущего винта и входение в режим самовращения несущего винта. Как правило, от момента срабатывания световой и звуковой сигнализации у пилота есть 2-3 секунды для того, чтобы опустить шаг-газ и «включить» обгонную муфту. Этот навык должен быть отработан до автоматизма.

Как бы вы не были расслаблены, кто бы вас не отвлекал во время полета, как только вы услышите сигнал: «БIIIIИ...П», сразу шаг-газ вниз. Опытный пилот определит отказ двигателя без сигнализации, по звуку.

Сначала шаг-газ вниз, а только потом разбираться, что произошло и куда лететь. Основная задача: сохранить обороты несущего винта – это ваша жизнь и жизнь ваших пассажиров. Помните: если обороты вашего винта окажутся ниже «dead line», то вы либо никогда уже не раскрутите винт до необходимых оборотов, либо сломаете лопасти в воздухе. В этих случаях избежать летального исхода почти невозможно.

2. Устойчивая авторотация и выбор площадки для посадки. В большинстве случаев у пилота на авторотацию есть всего несколько десятков секунд: обычные высоты полетов в Московской воздушной зоне не превышают 1000 футов (300 метров). За эти секунды надо принять решение о месте посадки и смоделировать оптимальную глиссаду. Только после этого можно попытаться перезапустить двигатель. Если еще успеете сообщить диспетчеру, что у вас отказал двигатель и вы авторотируете в двух километрах южнее деревни Гадюкино, то вы – опытный пилот и можете дальше не читать эту статью. Устойчивая авторотация с примерно постоянной скоростью снижения происходит до момента начала частичного или полного торможения.
3. Торможение или полное гашение до «нуля» вертикальной и почти до «нуля» горизонтальной скоростей. Часто в методичках процесс торможения и выравнивания «сливаются» в один элемент. Я решил разделить эти два элемента авторотации. «Выполживание глиссады» (полет параллельно земле) происходит примерно на высоте 40-100 футов (в зависимости от типа вертолета). В этой статье точка начала торможения (для оптимального угла глиссады авторотации – см. определение ниже) называется «окружностью точки действия». Каждый из опытных пилотов эту высоту для себя определяет по-своему. К примеру, один из моих инструкторов-учителей определяет ее как высоту, на которой он начинает различать структуру подстилающей поверхности, т.е. различать травинки на газоне или видеть структуру асфальта на ВВП. Главное в этом элементе – прицелиться «на точку касания» земли, погасить вертикальную и горизонтальные скорости и раскрутить несущий винт до 107-110% RPM. Постарайтесь увидеть на приборе данное увеличение оборотов – это будет хорошим знаком, что вы научились авторотировать.



ГЛАВА 1. КАК СКОРОСТЬ СНИЖЕНИЯ В АВТОРОТАЦИИ ЗАВИСИТ ОТ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ

4. Выравнивание. Во время торможения вы ручку циклического шага «берете на себя». Вертолет тормозит с большим продольным тангажем, нос сильно задран вверх. Если вы не выровняете вертолет перед посадкой, то вы останетесь без рулевого винта, в лучшем случае, если вообще не потеряете хвостовую балку. Многие курсанты инстинктивно боятся опустить нос вертолета для создания этого посадочного положения, им приходится буквально насиловать себя в процессе тренировок. Выравнивать вертолет вам необходимо либо над точкой касания, если вы решили садиться «без пробега», либо несколько ранее, если загрузка и подстилающая поверхность вам диктует посадку «с пробегом». Во время выравнивания лично у меня (на начальном этапе обучения) всегда было желание преждевременного взятия вверх общего шага. Не надо спешить!
5. Посадка. Именно во время посадки (с пробегом или без) вам понадобится вся кинетическая энергия или большая ее часть, запасенная в несущем винте. Потеряв горизонтальную скорость (соответственно, и подъемную силу) вертолет начинает «сыпаться» вниз. Вот здесь самое время тянуть вверх шаг-газ! Опытные вертолетчики это решительное действие называют «подрывом» шага, хотя более правильно говорить о «соразмерном взятии шага». Темп «взятия шага», как вы увидите далее, зависит от многих факторов и просто подлежит тренировке.

Целью этой статьи не является обучение авторотации. Да это и невозможно! Вертолет – сильно динамическая система, и описать все процессы на бумаге практически невозможно. Я хотел поделиться своим опытом: как влияет на авторотацию воздушная скорость вертолета и как прицелиться в нужную точку вынужденной посадки после «отказа» двигателя.

Прежде всего, для качественного понимания процесса авторотации определимся, какие случаи мы рассматриваем и чем пренебрегаем. Мы допускаем, что до момента принятия пилотом решения о вхождении в режим авторотации, вертолет двигался равномерно и прямолинейно на высоте примерно 700 футов, с обычной (для легких вертолетов) воздушной скоростью 90-100 узлов против ветра. Мы предполагаем, что для посадки в режиме авторотации имеется только одна пригодная площадка. В зависимости от положения вертолета относительно этой площадки для посадки мы и будем строить свои последующие рассуждения. Мы пренебрегаем в нашем рассмотрении такими важными параметрами, как: инерция несущего винта, зависимость скорости снижения в режиме авторотации от загрузки вертолета или от плотности воздуха. Где возможен учет этих факторов без утяжеления наших рассуждений, мы будем делать пояснения.

Итак, пилот вошел в режим авторотации. Чем он может управлять, чтобы попасть точно на спасительный островок земли? Вероятно, кроме ручки циклического шага у него нет ничего, что существенно (конечно, не забывая о педалях и шаг-газе) может повлиять на траекторию полета. Как же циклический шаг может помочь посадить вертолет с «отключенным» от ротора двигателем на выделенный участок земли? Только ускоряя или замедляя вертолет? Попытаемся разобраться.

Горизонтальная скорость вертолета является, вероятно, наиболее важным фактором, влияющим на вертикальную скорость снижения при авторотации. Вертикальная скорость снижения велика при очень низких горизонтальных скоростях и уменьшается до минимума при определенной средней скорости, а затем снова возрастает при увеличении горизонтальной скорости.

К сожалению, никто из десятка моих товарищей-пилотов и инструкторов (за редчайшим исключением) не смог мне даже качественно нарисовать поведение этой функции: зависимость вертикальной скорости авторотации от воздушной (горизонтальной) скорости. Поэтому у меня и появилась идея этой статьи.

Я понимал, что при использовании математических методов исследования авторотации мне придется рисовать всевозможные формулы и эпюры

скоростей, разлагать векторы сил по направлениям, что сильно утяжелило бы статью для восприятия. В таком случае ее никто не стал бы читать. А я хотел ее адресовать, прежде всего, начинающим пилотам и курсантам.

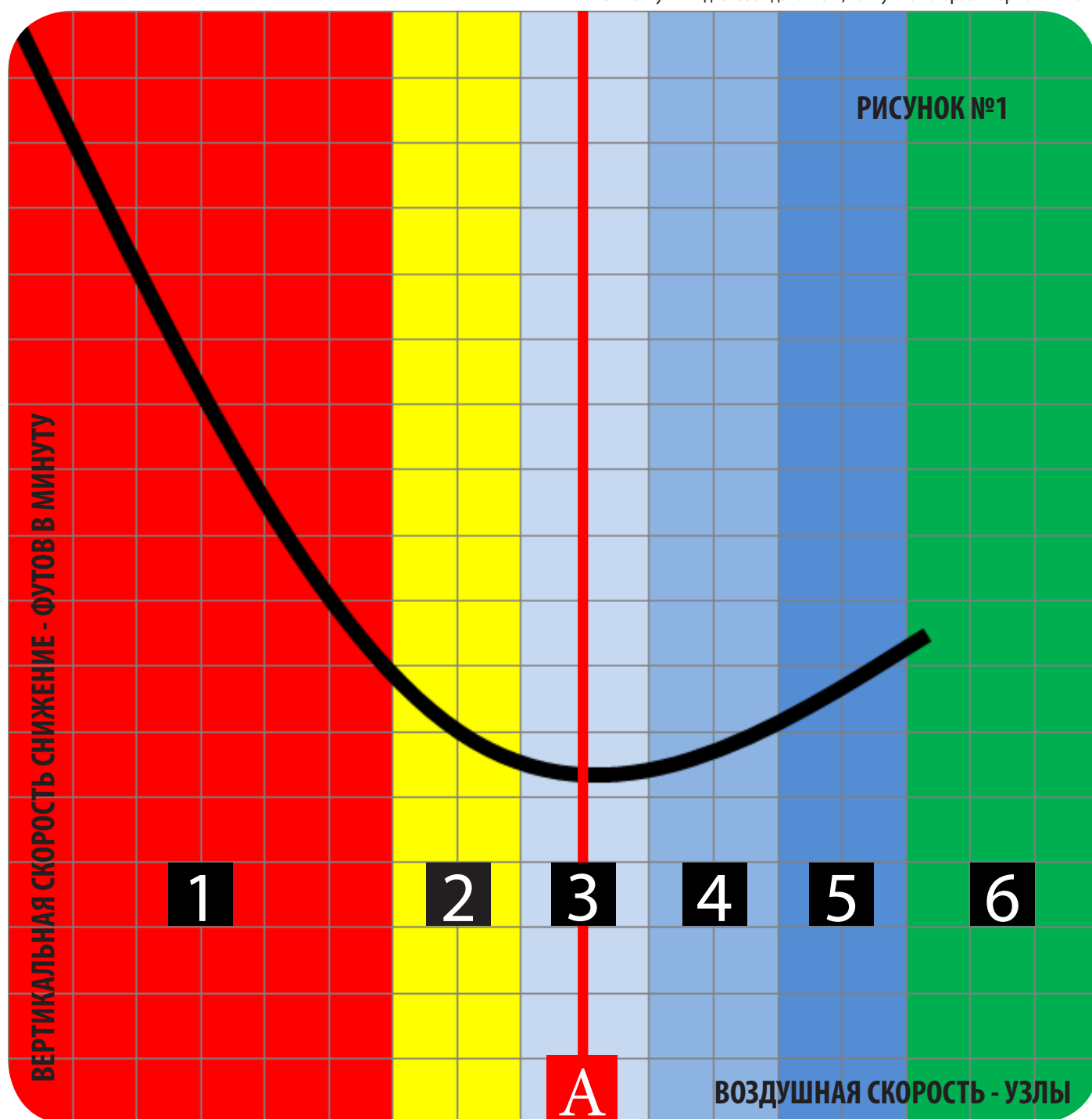
Не обязательно иметь базовое физическое или математическое образование, чтобы научиться хорошо авторотировать. Но, имея знания о физике процесса, вы сможете лучше понимать и, возможно, даже объяснить своим товарищам: а что же происходит с вертолетом и параметрами его полета во время точной (прецизионной) авторотации на выделенный квадрат??

График, приведенный ниже, отображает типичную взаимосвязь между скоростью полета и

вертикальной скоростью снижения. Обратите внимание, что вертикальная скорость снижения достигает максимального значения при нулевой горизонтальной скорости. Она уменьшается и достигает минимума в точке А при средней горизонтальной скорости. Затем вертикальная скорость снижения снова увеличивается и при определенном значении горизонтальной скорости достигается максимальная дистанция планирования при авторотации.

Диапазоны на рисунке №1:

- 1 - опасные зоны/высоты/скорости использовать только на высоте.
- 2 - оптимальный угол глиссады.
- 3 - наименьшая скорость снижения, немного ниже крейсерской V авторотации.
- 4 - наилучшая скорость частичного торможения.
- 5 - наилучший диапазон дальности, наилучшая скорость торможения.



Вертолет каждого типа имеет определенные скорости полета, (приведены в РЛЭ, «Руководстве по летной эксплуатации»), при которых планирование в режиме авторотации с выключенным двигателем покрывает максимальное расстояние (Точка В на Рис. 2).

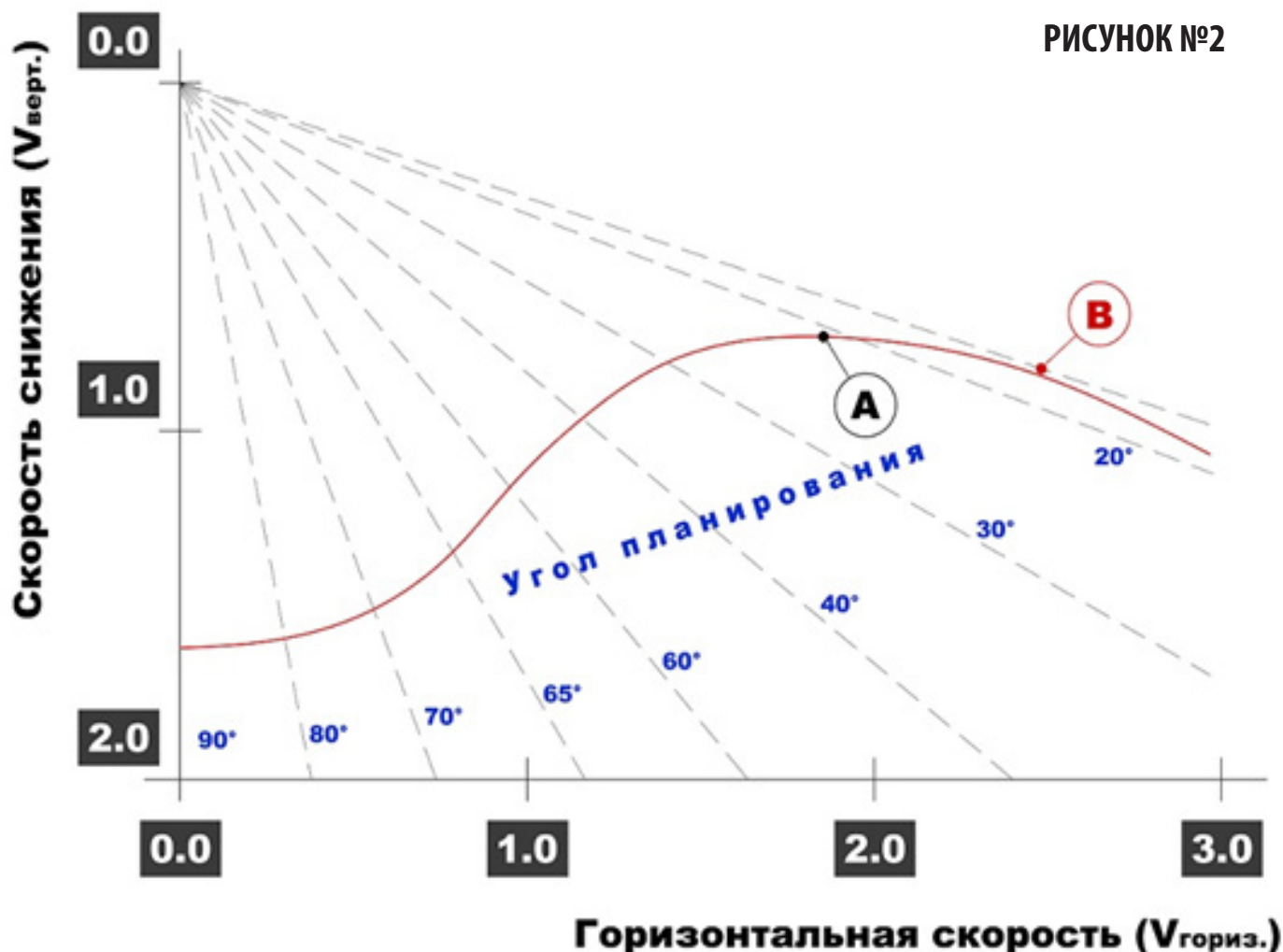
Такие скорости обычно равны или немного больше обычной рекомендованной в РЛЭ скорости авторотации. В Руководстве также отображены воздушные скорости, которые приведут к наименьшей вертикальной скорости снижения. Такие воздушные скорости обычно равны или немного меньше рекомендованной скорости авторотации.

Под крейсерской скоростью авторотации в данной работе понимается скорость авторотации, рекомендованная в РЛЭ, и она (лучше говорить не о точке, а о диапазоне скоростей), как правило, несколько выше воздушной скорости, которая обеспечивает минимальную скорость снижения, но меньше скорости для максимальной дальности полета на авторотации. На Рис. 1 крейсерская скорость авторотации находится в диапазонах 3-4. Для примера: для легких вертолетов ROBINSON-44, BELL 407 и т.п. такая скорость

составляет примерно 60-70 узлов и, как правило, эти скорости рекомендованы для устойчивого авторотирования.

Такие специфические воздушные скорости, указанные в РЛЭ, для максимальной дальности или наименьшей вертикальной скорости снижения устанавливаются при стандартных условиях, т.е. в атмосфере нормальной плотности при средних метеорологических и ветровых условиях и, конечно, нормальной загрузке вертолета.

Если управление вертолетом происходит при максимальной загрузке вертолета в атмосфере более низкой плотности, более высокой влажности или в условиях сильного, порывистого ветра, наилучшие характеристики авторотации достигаются при немного увеличенной воздушной скорости во время снижения. Что касается авторотации при слабом ветре и в атмосфере высокой плотности, наилучшие характеристики достигаются при небольшом уменьшении воздушной скорости. Выполняя эту общую методику подгонки воздушной скорости к существующим условиям, пилот сможет при любых обстоятельствах добиться оптимального угла планирования и максимально



точно определить точку приземления.

Например, наилучшая относительная дальность планирования (максимальная дальность) для среднего вертолета в условиях отсутствия ветра составляет около 4-х метров горизонтального планирования к 1-му метру снижения. Идеальная воздушная скорость для минимальной вертикальной скорости снижения бывает при скоростях меньших крейсерских значений и при относительной дальности планирования 3 метра вперед к 1-му метру снижения. При значениях выше и ниже этой воздушной скорости, вертикальная скорость снижения быстро увеличивается (Рис. 2).

Изучение Рис. 1 показывает типичные вертикальные скорости снижения для различных воздушных скоростей в режиме авторотации. Этот тип диаграммы дает информацию, необходимую для основного курса обучения по авторотации.

Для пилотов, имеющих средний уровень подготовки, допустимые диапазоны воздушной скорости авторотации различных моделей вертолетов варьируются от немного меньших, чем крейсерские значения до немного больших, чем крейсерские значения (диапазоны 2-5 рисунков 1 и 2).

Обратите внимание на то, что при воздушных скоростях диапазона 2 до средней точки А диапазона 3 на Рис. 1-2, небольшое изменение воздушной скорости приводит к большому изменению вертикальной скорости снижения. Пилот, при установившемся режиме авторотации в данном

диапазоне воздушной скорости, может заметно приблизиться или удалиться от точки контакта с землей, увеличив или уменьшив воздушную скорость всего на 5 узлов. Пример: для вертолета ROBINSON R-44 этот диапазон скоростей лежит около 40-50 узлов. В этом диапазоне ручкой циклического шага можно сильно влиять на прицеливание для точной авторотации. Воздушные скорости ниже диапазона 2 в большей степени приводят к высоким скоростям вертикального снижения.

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

На Рис. 3 показаны восемь примерных точек входа в авторотацию в зависимости от положения вертолета и точки приземления.

ПРИМЕЧАНИЕ. Необходимо отметить, что все рисунки и диаграммы, используемые в данной статье, являются экспериментальными, а не расчетными. Я, честно говоря, не знаю, можно ли математическими методами построить данные зависимости. Вероятнее всего, можно. Но во всех Руководствах по Летной Эксплуатации (РЛЭ) приведены именно экспериментальные графики для определенного типа вертолета. От точности и «проверенности» данных кривых часто зависит жизнь пилота и пассажиров. Именно поэтому каждая фирма-производитель вертолетов так тщательно



подходит к представлению таких графиков и диаграмм.

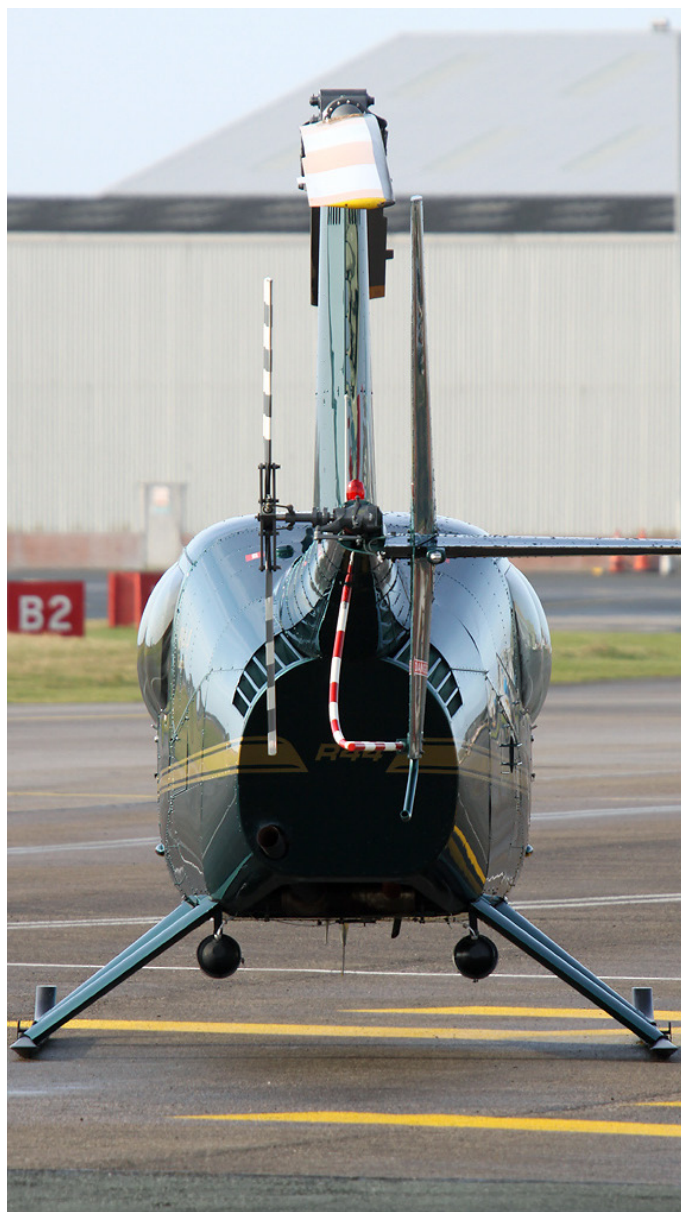
Данные «точки входа» в авторотацию показывают позиции впереди, сзади и внутри «оптимального угла глиссады» (определение ниже). Перед подробным рассмотрением каждой из этих точек входа необходимо принять следующие важные для качественного понимания общие определения:

- Определение: наиболее правильный с точки зрения авторотации диапазон воздушных скоростей, как показано на Рис. 1, находится в диапазонах 2 и 3. Именно при таких воздушных скоростях пилот может существенно влиять на дистанцию планирования, тем самым приближая или удаляя точку приземления. При изображении в разрезе такой диапазон воздушных скоростей будем называть «оптимальным углом глиссады» или «конусом точности». Примерно от 25 до 40 градусов к земной поверхности, как это видно на Рис. 2. Основная цель при выполнении точной авторотации в точках входа 1, 2, 4, 5 и 6 состоит в том, чтобы войти в глиссаду под нужным углом и сохранять его. Оптимальный угол глиссады необходимо захватить как можно скорее; потом можете проверить и установить воздушную скорость в устойчивом режиме авторотации, необходимую для выбранного режима авторотации и выбранной точки приземления.
- Определение: «Окружностью точки действия» (Рис. 3) является мысленно выделенная окружность на земле, где пилот должен начать тормозить, выполаживая траекторию. Другими словами, это выделенная на земле окружность с центром в точке «столкновения» вертолета с землей, если пилот не будет предпринимать никаких действий по изменению траектории авторотации.
- Точку входа 6 определим как стандартную точку входа для классической авторотации, если авторотация происходит с рекомендованной скоростью 60-70 узлов.
- Как мы уже показали, устойчивый (установившийся) режим авторотации заканчивается на 100 футах (30 метров). Следовательно, стандартный подход к точке приземления (Рис. 3) может быть выполнен при условии нахождения воздушной скорости в пределах допусков диапазона 3 и нормальной вертикальной скорости снижения. См. другие случаи на Рис. 4.

• Для устойчивой повторяемости авторотации надо, прежде всего, понимать главное: где ты находишься относительно точки приземления, т.е. пространственное положение вертолета при отказе двигателя по отношению к «окружности точки действия». Все другие параметры, например, воздушная скорость, направление ветра и т.д., могут быть установлены позже. Конечно, не забывая об оборотах несущего винта.

• Если у вас большой и тяжелый вертолет, то значения воздушной скорости и ограничения диаграммы «высота/скорость» необходимо пропорционально увеличить.

• Диаграммы «высота/скорость основаны» на стандартных условиях, т.е. для высот на уровне моря и нормальных погодных условий. Если ваш аэродром находится выше уровня моря, то графики зависимости скорости от высоты должны быть пропорционально увеличены, как это показано на Рис. 5.



ГЛАВА 3. КАК АВТОРОТИРОВАТЬ В РАЗЛИЧНЫХ СИТУАЦИЯХ

Процедуры, описанные далее в пунктах «Точки входа №1, 2 и 3», предназначены только для обсуждения и не должны выполняться при обучении. Выполнение этих маневров связано со значительным риском. Они описаны для того, чтобы пилот имел о них представление и мог попытаться выполнить данные типы приземления во время фактической авторотации (это замечание авторов американской статьи, и я счел правильным оставить его в тексте).

Точка входа №1: (Пример не для использования в период обучения)

- В области точки входа №1 (Рис. 3), точка приземления находится немного впереди оптимального угла глиссады, под фюзеляжем вертолета. Пилот видит площадку впереди практически прямо под собой.
- При полете на скорости 90-100 KIAS против ветра на высоте 700 футов (230 метров) над уровнем земли, ручку ШАГ-ГАЗ вниз до упора, уберите газ до холостого хода, выдерживайте курс и быстро тормозите так, чтобы погасить вертикальную и горизонтальную скорости над точкой ожидаемой посадки.
- Удерживайте положение с высоко поднятой носовой частью до тех пор, пока воздушная скорость не достигнет 15 узлов, затем медленно опускайте вертолет с такой скоростью, чтобы достичь 0 узлов приборной скорости, и войдите в режим «осевой авторотации» (в качестве одного из вариантов прицеливания и избегания недолета-перелета, выполните s-образные развороты при воздушной скорости диапазона 2.).
- Возможно, в режиме осевого авторотирования встречный ветер вызовет небольшое движение назад. Не пугайтесь. Авторотируйте назад, сохраняя обороты несущего винта.
- Когда окажется, что вертолет готов захватить оптимальный угол глиссады, плавно и постепенно опустите нос вертолета до такого продольного тангажа, который будет немного больше, чем обычный тангаж вертолета при взлете и разгоне.
- Разгоните вертолет, чтобы ваша воздушная скорость была в диапазонах 2 и 3 (См. Рис. 1)



и авторотируйте на скоростях немного меньших крейсерской. Для ROBINSON R-44 эта скорость примерно 50-60 узлов*).

- Следите за «окружностью точки действия» на предмет появления признаков перелета или недолета.
- При недолете опустите нос вертолета вперед для разгона, чтобы выиграть 5 узлов воздушной скорости, тем самым вы снизите вертикальную скорость. Затем выровняйте вертолет и снова «прицельтесь». Ваша скорость должна быть немного меньше крейсерской.
- При перелете, наоборот, возьмите ручку циклического шага на себя и притормозите. В этом случае у вас должна увеличиться вертикальная скорость. Потом выровняйте вертолет и снова определите свое местоположение относительно «окружности точки действия»*).
- Если на высоте 100 футов воздушная скорость находится в пределах допуска диапазона 3, завершите маневрирование и садитесь как при стандартной авторотации или во время тренировки упражнения «быстрая остановка на взлете» («Quick stop», «потеря» двигателя на взлете).
- Если на высоте 100 футов воздушная скорость находится в диапазоне 2, т.е. несколько меньше крейсерской скорости авторотации, то вам необходимо еще немного разогнаться. Сохраняйте режим авторотации приблизительно до высоты в 50 футов; затем переходите к торможению.

ПРИМЕЧАНИЕ. При авторотации по оптимальной линии глиссады наблюдение за «окружностью точки действия» является надежным только в режиме полета со скоро-



стью несколько ниже крейсерской скорости авторотации, т.к. только в этом случае вы можете, используя ручку циклического шага, эффективно управлять скоростью снижения.

- И наконец, касание в точке приземления, как при стандартной посадке с авторотацией.

Точка входа №2: (Пример не для проведения в период обучения)

- В области точки входа №2 (Рис.3), пилот осознает, что он находится на передней границе оптимального угла глиссады. Одновременно он понимает, что авторотация с рекомендованной в РЛЭ скоростью приведет к перелету спасительной площадки.
- При полете на скорости 90-100 KIAS против ветра на высоте 700 футов (230 метров) над уровнем земли, ручку ШАГ-ГАЗ вниз до упора, уберите газ до холостого хода, выдерживайте курс и быстро тормозите для гашения всей фактической путевой скорости в точке ожидаемой посадки.
- Когда путевая скорость достигнет 0 узлов («осевая авторотация»), опустите немного нос и разгонитесь до скорости немного меньше крейсерского режима авторотации. (Теперь воздушная скорость должна быть равна или примерно равна скорости ветра).
- В таком режиме почти «осевой авторотации» продолжайте действовать согласно указаниям в упражнении «Точка входа №1», чтобы оставаться в пределах оптимального угла глиссады.

Точка входа №3: (Пример не для проведения в период обучения)

- В области точки входа № 3 (Рис. 3), пилот

определяет, что он находится в пределах оптимального угла глиссады.

- При полете на скорости 90-100 KIAS против ветра на высоте 700 футов (230 метров) над уровнем земли, ручку ШАГ-ГАЗ вниз до упора, уберите газ до холостого хода, выдерживайте курс и ручкой циклического шага немного притормозите, чтобы снизить скорость.
- Когда воздушная скорость будет между диапазоном 2 и диапазоном 3 (в зависимости от влияния ветра на путевую скорость), опустите немного нос и разгонитесь до скорости немного меньше крейсерского режима авторотации.
- Затем действуйте согласно указаниям в упражнении «Точка входа №1», чтобы оставаться в пределах точного угла глиссады.

Точка входа №4

- В области точки входа №4 (Рис. 3), пилот понимает, что он находится совсем рядом с оптимальным углом глиссады. Он хорошо видит площадку для приземления впереди по курсу вертолета. Но, используя рекомендованную скорость авторотации, может «не долететь» до площадки приземления.
- При полете на скорости 90-100 KIAS против ветра на высоте 700 футов (230 метров) над уровнем земли, ручку ШАГ-ГАЗ вниз до упора, уберите газ до холостого хода, выдерживайте курс и плавно-плавно тормозите. Это приведет к тому, что вы «сядете» на оптимальный угол глиссады.
- Когда воздушная скорость будет между диапазоном 2 и диапазоном 3 (в зависимости от влияния ветра на путевую скорость), опустите немного нос и разгонитесь до скорости немного меньше крейсерского режима для устойчивой авторотации. Затем действуйте согласно указаниям в упражнении «Точка входа №1,» чтобы оставаться в пределах точного угла глиссады.

ПРИМЕЧАНИЕ. Упражнение №4 является примером для демонстрации идеально точной авторотации.

Точка входа №5

- В области точки входа №5 (Рис. 3), пилот определяет, что он находится достаточно близко, но позади оптимального угла глиссады.

- При полете на скорости 90-100 KIAS против ветра на высоте 700 футов (230 метров) над уровнем земли, ручку ШАГ-ГАЗ вниз до упора, уберите газ до холостого хода, выдерживайте курс, скорость и число оборотов (например, для R-44 это соотношение: 90%RPM-90KIAS) несущего винта для наилучшей дальности планирования. Кроме того, для наилучшей дальности лучше снос, чем скольжение.

ПРИМЕЧАНИЕ. Вы должны ясно отдавать себе отчет в том, что использование режимов «максимальной дальности планирования» (для R-44 – это режим 90%RPM-90KIAS) не позволит вам существенно удлинить траекторию авторотации при входе в этот режим на стандартных для наших условий высотах полетов: 200-300 метров. Вам не удастся «удлинить» глиссаду на полкилометра. Поэтому, преодолевая водные преграды, повысьте линию полета на пару сотен метров (с разрешения Диспетчера, конечно).

- Когда окажется, что оптимальный угол глиссады перед вами, выполните частичное торможение. Это приведет к «захвату» оптимального угла глиссады.
- Когда воздушная скорость будет находиться в диапазонах 2-3, опустите немного нос и разгонитесь до скорости несколько меньшей крейсерского режима для устойчивой авторотации и действуйте согласно указаниям в упражнении «Точка входа №1», чтобы оставаться в пределах оптимального угла глиссады.

Точка входа №6

- В области точки входа №6 (Рис. 3), пилот определяет, что он находится позади оптимального угла глиссады, достаточно далеко для «захвата».
- Его действия аналогичны действиям в точке входа №5 с возможным захватом оптимального угла глиссады под линией снижения. Кроме того, он может решить действовать, как и в точке входа №7.

Точка входа №7

- В области точки входа №7 (Рис. 3), пилот определяет, что он не может захватить оптимальный угол глиссады.
- При полете на скорости 90-100 KIAS против ветра на высоте 700 футов (230 метров) над



уровнем земли, ручку ШАГ-ГАЗ вниз до упора, уберите газ до холостого хода, выдерживайте курс и положение для наилучшей дальности.

- Допустить срабатывание сигнализации «малые обороты RPM», удерживать оптимальную (высокую) скорость авторотации для максимального расстояния.
- Линия снижения будет нацелена на точку, достаточно близкую к точке касания земли.
- Примерно на высоте 200 футов начните плавное торможение ручкой циклического шага, преобразуя поступательную скорость в плавное выполаживание траектории. Это приведет к приближению вашей траектории к оптимальной.
- Регулируя скорость и количество торможений от 200 футов и ниже, можно выполнить завершение маневра в точке приземления.

Точка входа №8

- Данное упражнение идентично упражнению для точки входа №7, за исключением того, что вход задан значительно дальше от оптимального угла глиссады, чем в точке №7.
- Линия снижения нацелена на точку, которая на 100 или более футов ближе окружности точки действия.
- Сохраняйте положение наилучшей дальности планирования, число оборотов в минуту несущего винта вертолета и педальную балансировку. Не допускайте скольжения. По достижению высоты в 40-60 футов, выполните полное торможение, с контролем и регулировкой скорости и положения вертолета, чтобы прибыть в точку касания земли в конце торможения.
- Дайте вертолету установиться в 15-20 футах;

применив только легкий начальный подъем общего шага. Авторотируйте почти до самой точки приземления. Выровняйте вертолет и «подорвите» общий шаг, необходимый для мягкой посадки.

ГЛАВА 4. ЭТИ КРАЙНИЕ (ПОСЛЕДНИЕ) 100 ФУТОВ (30 МЕТРОВ) ПЕРЕД ПОСАДКОЙ

Для ясности предположим, что устойчивая авторотация заканчивается на 100 футах, и начинается процедура посадки с неработающим двигателем. Принятый метод выполнения такой посадки для винтокрылых летательных аппаратов состоит в том, чтобы сначала поступательную скорость вертолета превратить в дополнительную кинетическую энергию вращения основного ротора путем торможения (установки плоскости несущего винта под крутым углом к набегающему воздушному потоку), а потом, при почти нулевой вертикальной и горизонтальной скоростях, перевести эту кинетическую энергию в подъемную силу путем поднятия общего шага.

ПРИМЕЧАНИЯ:

- *Потенциальная энергия при посадке с выключенным двигателем. На высоте 100 футов пилот должен начать тратить сохраненную энергию полета, а именно, поступательную скорость вертолета и, непосредственно перед приземлением, превращать ее в энергию вращения несущего винта. На 100 футах он может точно прогнозировать количество запасенной энергии (соотношение между торможением или раскруткой основного ротора), достаточной для посадки с выключенным двигателем. Он также может спрогнозировать эффективность (скорость, с которой надо*

тянуть) применения общего шага винта для смягчения приземления.

- *Уменьшение вертикальной скорости снижения и замедление путевой скорости. Вся эта тяжелая аэродинамическая работа уменьшения вертикальной скорости снижения и замедления путевой скорости должна быть результатом применения пилотом навыков эффективного торможения приблизительно до 15 футов. А после этого, применение им общего шага винта дополнительно замедлит снижение и смягчит приземление.*

См. Рис. 4 для получения информации о прогнозируемых условиях для посадки с выключенным двигателем. На нем отображены положения вертолета во время процедуры авторотации на крайних 100 футах перед приземлением в зависимости от воздушных скоростей, которые были у вертолета перед началом торможения.

УСЛОВИЯ

Условие 5 (диапазон воздушной скорости 5).

Условие 5 существует на высоте 100 футов при воздушной скорости в диапазоне 5 (наилучшая воздушная скорость для максимальной дальности планирования, см. соответствующий раздел РЛЭ). При условии 5 вертолет снижается с очень малым углом наклона плоскости несущего винта к линии снижения. В начале торможения и, учитывая высокую скорость авторотации, вертолет встречается с большим объемом воздушной массы в секунду. Это способствует созданию исключительной подъемной силы путем плавного, но настойчивого расположения плоскости вращения несущего ротора почти перпендикулярно линии пути. Данное положение вертолета в воздухе обычно достигается при 30 - 60 футах, в зависимости от летательного аппарата.



РИСУНОК №4

Дополнительная подъемная сила, созданная полным торможением, настолько велика, что снижение будет прекращено и некоторое время линия полета будет параллельна земле. После окончания торможения, при благоприятных плотности воздуха, ветре и общем весе, вертолет мягко останавливается в точке, в которой пилот слегка поднимает шаг. После этого следует завершающее применение пилотом общего шага винта для мягкого приземления и почти нулевого пробега по земле.

Все эти действия прогнозируются на высоте 100 футов.

Условие 4 (диапазон воздушной скорости 4).

Условие 4 существует на высоте 100 футов, при воздушной скорости в диапазоне 4, в котором вертолет снижается с достаточно малым углом наклона плоскости несущего винта к линии снижения. Плавное и поступательное изменение положения (торможение), которое будет «подставлять» полный профиль диаметра несущего винта к линии авторотации, сделает линию снижения более полой. При правильном прогнозировании заранее, этот дополнительный подъем значительно снизит скорость вертикального снижения и скорость поступательного движения до применения общего шага несущего винта. Торможение также может использоваться для увеличения числа оборотов несущего винта до поднятия общего шага.

Все эти действия прогнозируются на высоте 100 футов.

ПРИМЕЧАНИЕ. Прекращение полного или частичного торможения необходимо для нулевого пробега по земле.

Условие 3 (диапазон воздушной скорости 3, Рис. 4).

Условие 3 существует на высоте 100 футов при воздушной скорости в диапазоне 3, при которой вертолет снижается при профиле диаметра несущего винта немного меньшем, чем полный профиль к линии снижения; подъемная сила на переходном режиме почти максимальна, а вертикальная скорость снижения – минимальна. Пилот должен знать, что плавное и поступательное изменение положения вертолета в воздухе, которое «подставляет» полный профиль несущего винта к линии полета, приведет к эффективному торможению.

Это торможение, при условии, что оно не изменяет заметно линию снижения, уменьшит вертикальную скорость снижения и скорость поступательного движения в точке приземления, в которой энергия общего шага несущего винта будет достаточно эффективной. При правильном расчете времени торможения, снижение часто полностью прекращается при небольшом изменении пилотом шаг-газа. При этом все еще остается «резерв» шага, достаточный для задержки и последующего смягчения приземления (при благоприятном ветре, плотности, высоте или весе), приводящем к относительно короткому пробегу по земле.

Все эти действия прогнозируются на высоте 100 футов.

Условие 2 (диапазон воздушной скорости 2, Рис. 4).

Условие 2 существует на высоте 100 футов, при воздушной скорости в диапазоне 2, когда вертолет снижается при почти полном профиле диаметра несущего винта относительно линии снижения. Пилот должен знать, что изменение положения в воздухе ничего не даст; что он должен удерживать устойчивую авторотацию для сохранения скорости, как минимум, до 50 футов; и что условие 2, по сравнению с остальными условиями, приведет к наибольшему пробегу по земле при посадке. Поэтому, примерно на высоте 50 футов, пилот должен начать изменение положения вертолета до небольшого наклона несущего винта назад, непосредственно перед «подрывом» общего шага винта. Изменение положения не обеспечит серьезную дополнительную подъемную силу, но добавит тыльный компонент (действующий назад) силы во время применения шага. Это поможет замедлить и сократить пробег на земле.

Прогнозируемо, что при отсутствии такого элемента авторотации, как выполнение эффективного торможения (во время крайних 100 футов), применение только общего шага несущего винта не обеспечит достаточную дополнительную подъемную силу при приземлении и замедление пробега по земле. Длина пробега по земле составит, приблизительно, от 30 до 40 метров.

Все эти действия прогнозируются на высоте 100 футов.

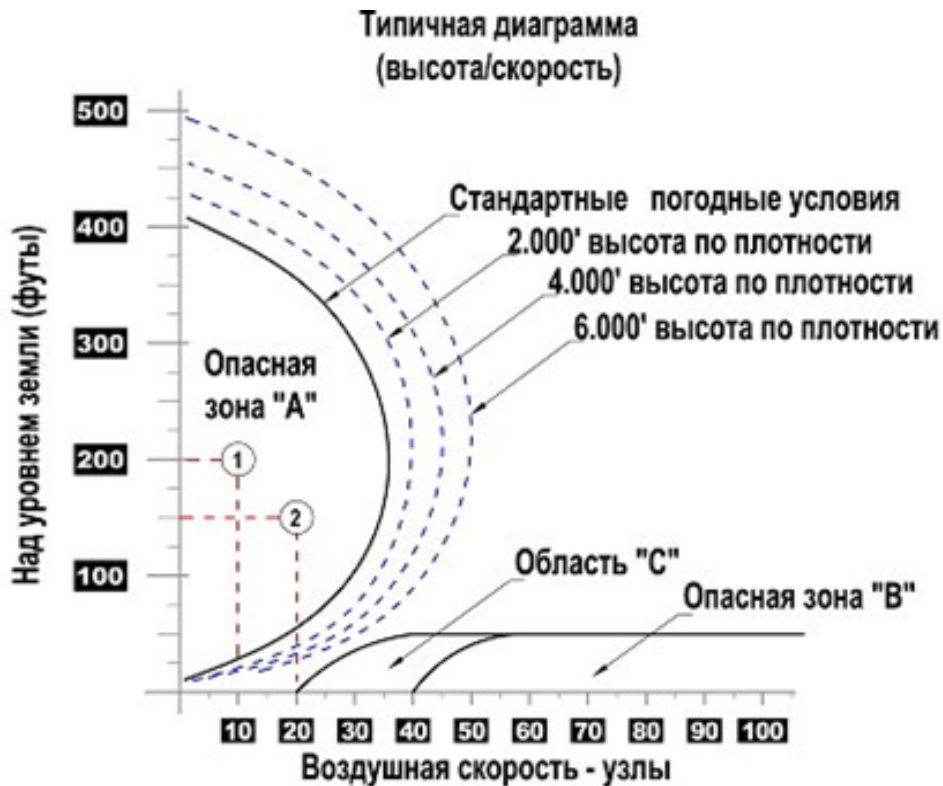
Другая опасность состоит в том, что условие 2 может возникнуть на границе диаграммы высота/скорость. Часто порывы ветра и/или не учёт плотности атмосферы в зависимости от барометриче-

ской высоты может привести к увеличению вертикальной скорости снижения, требуя от пилота хоть немного раскрутить винт перед «подрывом» общего шага.

Итоговая сводка аварий обычно показывает, что повреждение было вызвано поздним и недостаточным решительным применением общего шага

несущего винта. Фактически, ошибка произошла раньше – на высоте 100 футов. Она случилась из-за отсутствия знаний, перекрестной проверки всех условий, перспективной оценки и прогнозирования. Если условие 2 выполняется при наличии знаний, с нормальными атмосферными условиями и неперегруженным вертолетом, оно считается БЕЗОПАСНОЙ операцией.

РИСУНОК №5



Условие 1 (диапазон воздушной скорости 1, Рис. 4).

Условие 1 происходит в «запрещенных» областях диаграммы высота/скорость. Оно существует на высоте 100 футов, при воздушной скорости в диапазоне 1, когда вертолет снижается при полном профиле диаметра несущего винта по отношению к линии снижения. В этом случае – наибольшая скорость снижения (см. Рис. 1); раскрутка несущего винта за счет торможения невозможно. Хотя опытные пилоты R-44 говорят, что даже при осевой авторотации винт можно раскрутить до 108-110%. В этом случае гашение вертикальной скорости у земли будет более эффективным. Вследствие градиента, порывов или сдвигов ветра, это условие может неожиданно возникнуть на последних 100 футах снижения. Тогда полная вертикальная скорость снижения может быть погашена только посредством применения общего шага несущего винта. Обычно произведенная подъемная сила является недостаточной для безопасного приземления. Условие 1 может также привести к явному или скрытому повреждению вертолета вследствие жесткой посадки. Такое повреждение может быть достаточным для фактического отказа двигателя. Такая авторотация никогда не применяется при практическом обучении, и приземление при работающем двигателе является обязательным условием при приземлении. Все эти действия прогнозируются на 100 футах

ГЛАВА 5. ДИАГРАММА «ВЫСОТА/СКОРОСТЬ»

Типичный вид диаграммы высота/скорость или, как пилоты в «шутку» называют, «КРИВАЯ МЕРТВЕЦА», показан на части А, Рис. 5.

Обратите внимание, что чем выше расположена земля над уровнем моря (чем более разреженная атмосфера), тем «толще» становится «запретный локус». Тем самым при потере скорости вы должны отслеживать безопасную высоту «зависания», т.е. анализировать такие параметры, как высота, скорость, плотность атмосферы, нагрузка вертолета.

Опасные зоны имеют предупреждения: «Не допускайте непрерывной работы — отказ двигателя при работе в этих опасных зонах может привести к повреждению вертолета».

Опасная зона (А) верхнего графика на Рис. 5 не расчетная, а экспериментальная, но с допущения-



ми на основании инженерных и летных данных с включением следующих факторов:

1. Вертикальная скорость снижения, необходимая для раскрутки несущего винта в режиме авторотации, для каждого интервала воздушной скорости в 10 узлов (от 0 до красной линии или максимальной скорости) для вертолета определенной конфигурации (см. график В, Рис. 5).
2. Характеристики инерции несущего винта или скорость затухания оборотов несущего винта, с момента отказа двигателя и до того, как пилот получит сигнал об отказе двигателя. Необходимо прибавить время реакции пилота после получения им предупреждающих сигналов (световых и звуковых), чтобы опустить шаг-газ и войти в режим авторотации.
3. Соотношение подъемной силы и скорости снижения для каждой точки диаграммы «высота/скорость» с числом оборотов несущего винта (RPM) в момент «подрыва шага» для обеспечения «мягкой посадки».
4. Расчетное ограничение по предельным нагрузкам на посадочное шасси (или лыжи) вертолета и возможность их конструктивного повреждение при «жесткой посадке», что в свою очередь представляет собой риск повреждения или полного разрушения для других элементов конструкции вертолета.

Опасные зоны на диаграмме «высота/скорость» являются особыми для каждого типа вертолета. Они зависят от взлетного веса вертолета, барометрической высоты, температуры окружающей среды, скорости, доступной мощности двигателя, количества работающих двигателей, а также скорости вращения несущего винта.

Хотел бы отметить, что опытный пилот-инструктор или испытатель по самому виду диаграммы

«высота/скорость» может достоверно сказать, насколько хорошо данный тип вертолета авторотирует. Я надеюсь, что это сможет качественно понять и читатель, после ознакомления с данной статьей, сравнивая две диаграммы «высота/скорость» для этих типов вертолетов.

Обычно данные в руководстве по летной эксплуатации (РЛЭ) представлены в графической форме для различных высот над уровнем моря, условий стандартной температуры при расчетном полном взлетном весе вертолета. Графики для других условий могут быть спрогнозированы с помощью масштабных коэффициентов, которые должны присутствовать в РЛЭ.

Приведенные диаграммы выполнены для прямолинейного полета с постоянной воздушной скоростью KIAS; они не применяются к полету с набором высоты. Отказ двигателя, произошедший при наборе высоты, обычно приводит к более тяжелым условиям авторотации, особенно при небольших высотах полета.

Во время набора высоты вертолет обычно использует максимальную мощность двигателя и



большие углы атаки лопастей. Отказ двигателя приведет к быстрому затуханию оборотов несущего винта, вертолет прекратит подниматься вверх, затем начнет снижение. Пилот будет пытаться запустить режим самовращения несущего винта и стабилизации оборотов; затем увеличит число оборотов RPM до своего нормального диапазона. Вертикальная скорость снижения должна достичь такого значения, которое согласовано с воздушной скоростью вертолета (см. Рис. 1). Поскольку высота может оказаться недостаточной для выполнения последовательности этих действий, пилот получит вертолет с затуханием оборотов несущего винта, соответственно, с увеличивающейся скоростью снижения перед приземлением, отсутствием тормозящей подъемной силы, малой подъемной силой на переходном режиме и слабой реакцией на применение им общего шага несущего винта для смягчения удара от столкновения с землей.

Операции в опасной зоне (А) верхней части Рис. 5 значительно менее опасны во время полета со снижением при любой комбинации высоты/скорости при наличии большой площадки для приземления.

Опасная зона (В) предостерегает от непрерывной работы при определенных комбинациях следующих параметров: малая высота/ воздушная скорость/состояние поверхности земли.

Общее правило: не летайте и не маневрируйте с большой скоростью вблизи земли!

Эти ограничения основаны на:

1. малом отрезке времени, в течение которого пилот должен понять и среагировать на световую и звуковую сигнализации об отказе двигателя,
2. недостатке времени, необходимого для пере-



хода из режима движения вперед с опущенной носовой частью до режима торможения с задранной (слабо поднятой) носовой частью вертолета,

- возможной быстрой потере высоты в этом малом промежутке времени, проседание вертолета и вероятность удара хвостового колеса/полоскового шасси/предохранительного обтекателя хвостовой балки о землю или иное препятствие.

ПРИМЕЧАНИЕ. *Сходства между вышеприведенными пунктами 1, 2 и 3 и обычным режимом авторотации на небольшой высоте на взлетно-посадочной полосе, практически нет. Решение для пилота состоит в полном отказе от операций в области «В», за исключением случаев, когда это требуется тактической задачей (например, во время выполнения боевой задачи или спасения людей).*

Область (С) может использоваться над открытой ровной местностью или взлетно-посадочной полосой, где не требуется уклонение от препятствий или изменение направления и возможен короткий пробег по земле. Это условие аналогично обычной практике режима авторотации на низкой высоте.

При малых воздушных скоростях и наличии площадки для приземления (как правило), пилот должен понимать, что ему необходимо 300 футов (100 метров) для легких вертолетов и 500-600 футов (200 метров) для больших вертолетов для установки стабильного режима авторотации и выполнения разумно безопасного приземления.

Отказ двигателя (см. верхнюю часть Рис. 5) при 10 узлах на высоте 100 футов требует вертикальной скорости снижения 2700 футов в минуту (см. нижнюю часть Рис. 5) для раскрутки несущего винта до нормального числа оборотов для устойчивой авторотации.

Отказ двигателя при 20 узлах на высоте 150 футов требует вертикальной скорости снижения 2100 фут в минуту для раскрутки несущего винта до нормального числа оборотов.

Вертикальные скорости снижения в примерах (1) и (2) нижней части Рис. 5 невозможно достичь. Вы не успеете понять, что отказал двигатель и опустить шаг-газ вниз. Вам для этого отведено всего несколько секунд. Даже, если вы успеете среагировать и опустить шаг-газ вниз, недостаток



высоты не даст вам времени для восстановления оборотов ротора. Следовательно, обороты несущего винта будут затухать. Торможение за счет ручки циклического шага для уменьшения вертикальной скорости снижения невозможно, и запас энергии несущего винта будет слишком малым для эффективного применения общего шага несущего винта и приземления. Эти совместные воздействия увеличат вероятность «жесткой» посадки и конструкционного повреждения вертолета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВАЖНО ПОМНИТЬ!

Пилотов вертолетов часто просят (требуют) выполнить широкий диапазон задач. Но как бы высока не была ваша квалификация и подготовка, вы должны избегать работы в опасных зонах диаграммы «высота/скорость», за исключением тех случаев, когда это необходимо для спасения людей или выполнения боевого задания (висеть с ведром воды над столом на спортивной площадке – тоже опасно!). А для этого пилот должен иметь глубокие знания «физики» этой диаграммы для конкретного типа вертолета и быть способным их применить при возникновении чрезвычайных ситуаций.

P.S. В заключении я хотел бы поблагодарить своих друзей-пилотов, особенно Михаила Фариха, за ценные замечания и исправления. К сожалению, часть неточностей в этой работе связана с тем, что первоначально я переводил американскую статью, которая написана, вероятно, для более «тяжелого» вертолета, чем ROBINSON R-44. Поэтому диаграммы и графики приведены для более тяжелого вертолета. Надеюсь, что я побудил вас еще раз посмотреть РЛЭ и обсудить авторотацию с вашим опытным инструктором :)

Сотников М.А. 

13 января 2012 г. (Старый – Новый Год).