

М. В. Безбрызгов, Р. М. Алеев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСЛОВИЙ ФАКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРТОЛЕТА АНСАТ

В работе представлен способ определения и время выполнения условий эксплуатации вертолета АНСАТ. По определенным условиям и времени эксплуатации определяются повторяемость режимов, высота и продолжительность полета. По полученным результатам определяются наработка и остаточный ресурс конкретного вертолета и его агрегатов в пересчете на принятую повторяемость ожидаемых условий эксплуатации. *Вертолет; условия эксплуатации; параметры контроля; ресурс агрегатов*

При эксплуатации вертолетов всегда ставится задача определения остаточного ресурса работы вертолета и его агрегатов, для определения которого необходимо знать величину и время воздействия нагрузок при эксплуатации.

Для уточнения условий эксплуатации парка вертолетов необходимо учитывать высоты и продолжительность полета.

Величина нагрузок на вертолет и агрегаты на различных режимах эксплуатации определены по результатам наземных и летных предварительных и сертификационных испытаний.

Время воздействия нагрузок при эксплуатации, т. е. время выполнения каждого режима, а так же высоты и продолжительность полета могут быть определены только по результатам расшифровки записей бортового самописца.

Расшифровка записей даже одного вертолета – процесс трудоемкий, усложняемый различного рода погрешностями. Если же в эксплуатации находится несколько вертолетов, и количество их с каждым годом увеличивается, то задача расшифровки становится практически невыполнимой.

В данной работе представлены алгоритмы по определению указанных условий эксплуатации по записям бортового самописца. Установлены критерии однозначного определения каждого из рассматриваемых режимов эксплуатации. Разработано программное обеспечение и интерфейс для работы с записями бортового самописца. Все это значительно упрощает процесс расшифровки и сокращает время его выполнения.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными данными является текстовый файл с записанными во время полета параметрами. Текстовый файл с шагом по времени через 1 с создается по записям бортового самописца с помощью программного обеспечения «СКАТ» ЗАО НПП «Топаз». В него входят следующие параметры (порядковый номер указывает на номер столбца в файле):

1. Время – текущее время, с;
2. $H_{отн}$ – относительная высота, м;
3. $N_{нв}$ – обороты несущего винта вертолета, %;
4. $V_{пр_ув}$ – приборная скорость горизонтального полета, км/ч;
5. W_x – угловая скорость вертолета относительно оси X , град/с;
6. W_y – угловая скорость вертолета относительно оси Y , град/с;
7. W_z – угловая скорость вертолета относительно оси Z , град/с;
8. Крен – угол крена вертолета, град;
9. Курс – угол курса вертолета, град;
10. ДОС_п – датчик обратной связи переднего привода, мм;
11. ДОС_л – датчик обратной связи левого привода, мм;
12. ДОС_з – датчик обратной связи заднего привода, мм;
13. ДОС_х – датчик обратной связи хвостового привода, мм;
14. Тангаж – угол тангажа вертолета, град;
15. H_r – геометрическая высота полета, м;
16. $M_{кр_1}$ – крутящий момент на валу свободной турбины первого двигателя, %;

17. $M_{кр,2}$ – крутящий момент на валу свободной турбины второго двигателя, %;
18. $X_{вц}$ – ход ручки общего шага НВ, град ДПР;
19. $X_{кц}$ – ход РЦШ по крену, град ДПР;
20. $X_{нц}$ – ход педалей, град ДПР;
21. $X_{тц}$ – ход РЦШ по тангажу, град ДПР;
22. $\Pi_{нв_общ}$ – общий шаг несущего винта, град;
23. Шасси_обж – обжатие шасси, разовая команда;
24. $G_{взл}$ – взлетный вес вертолета, кг;
25. $X_{ц_взл}$ – взлетная центровка вертолета, м.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИМОВ

Разработка алгоритмов разделена на следующие составляющие:

- разработка алгоритма по определению продолжительности полета;
- разработка алгоритма по определению времени выполнения режимов;
- разработка алгоритма по определению высот полета.

На рис. 1 представлен обобщенный алгоритм по определению условий эксплуатации.



Рис. 1. Обобщенный алгоритм по определению условий эксплуатации

АЛГОРИТМ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЛЕТА

Запись бортового накопителя начинается с момента включения питания на вертолете. Поэтому данные, созданные по записям бортового накопителя, необходимо разбить на следующие промежутки:

- работа на земле с выключенными двигателями (Land) (данный режим в алгоритмах не рассматривается);
- работа на земле с включенными двигателями (WorkEngines);
- полет (Tfly).

Продолжительность полета определяется следующим образом: если между посадкой и взлетом с работающими двигателями прошло не более 15 минут (900 секунд), то полет считается непрерывным. Связано это с тем, что одна из модификаций вертолета АНСАТ предназначена для обучения курсантов в летном училище. Одним из упражнений является полет по кругу, в процессе которого за одну заправку топливного бака может быть совершено несколько взлетов и посадок без выключения двигателей.

Алгоритм по определению времени работы на земле, работы на земле с включенными двигателями и продолжительность полета представлен на рис. 2.

АЛГОРИТМ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЖИМОВ И ВЫСОТ ПОЛЕТА

Для определения времени выполнения режимов вертолета АНСАТ записи бортового накопителя разбиваются следующим образом:

- наземные работы с работающим двигателем;
- висение;
- разворот на висение (вправо и влево);
- разгон на взлете и торможение на посадке;
- разгон и торможение в полете;
- набор высоты и моторное планирование;
- горка и пикирование;
- установившиеся виражи (влево и вправо);
- горизонтальный полет на разных скоростях.

Вертолет АНСАТ сконструирован с бесшарнирной втулкой несущего винта. Поэтому большие отклонения ручки циклического шага (РЦШ) при рулении на земле вызывают значительные напряжения на вал несущего винта.

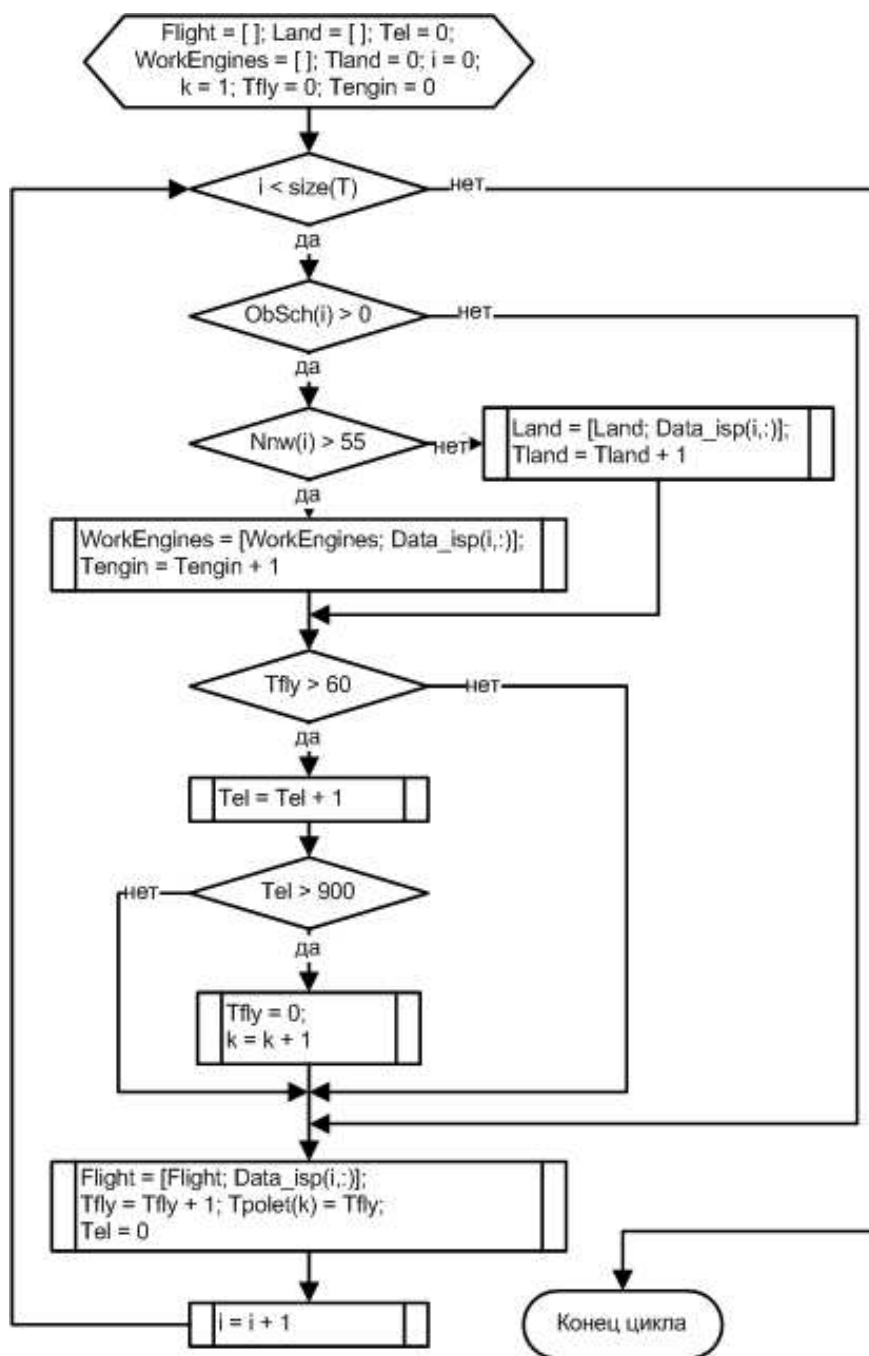


Рис. 2. Алгоритм по определению времени работы на земле, работы на земле с включенными двигателями и продолжительность полета

По результатам наземных испытаний были определены границы отклонений РЦШ, превышение которых резко уменьшает ресурс работоспособности вала несущего винта.

Алгоритм по определению времени выполнения режимов разбит на два подалгоритма:

- алгоритм по превышению границ отклонений РЦШ при работе вертолета на земле с включенными двигателями;
- алгоритм по выборке режимов.

Связано это с тем, что алгоритм по превышению границ отклонений РЦШ определяется на режиме наземных работ с работающим двигателем, а алгоритм по выборке режимов полета определяется по записям бортового накопителя от момента отрыва вертолета от земли до момента касания.

Алгоритм по превышению границ отклонений РЦШ определяет величину и время, превышающие границы отклонения РЦШ. Разрабо-

танный алгоритм представлен на рис. 3, где Tengin – время записи на земле с включенными двигателями, XprGUmin, XprGUmax, XpopGUmin, XpopGUmax – границы отклонения РЦШ.

Алгоритм по выборке режимов полета представлен на рис. 4. Критерии определения режимов полета устанавливались путем анализа летных испытаний. Достоверность установленных критериев и их корректировка по необходимости определялась путем накладывания определенных алгоритмом режимов полета на параметры, полученные с бортового самописца. Таким образом происходила настройка выбранных критериев.

К некоторым параметрам, полученным с бортового самописца, применялись методы фильтрации.

После выборки режимов полета было определено время выполнения каждого режима.

В цикле по выборке режимов полета реализован также алгоритм по определению высот полета вертолета (рис. 4).

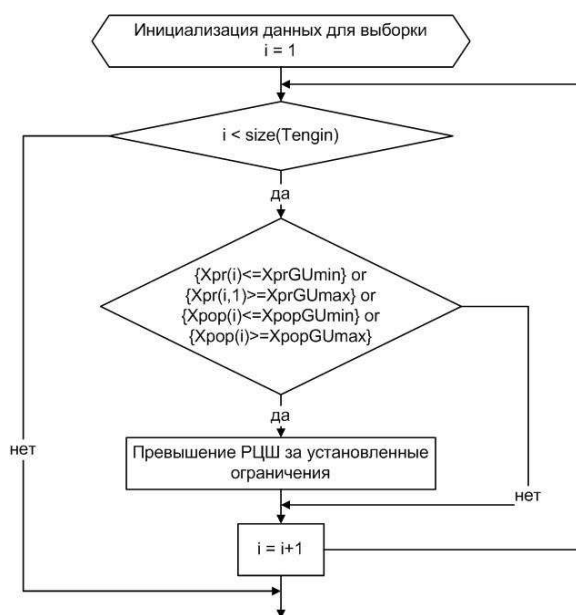


Рис. 3. Алгоритм по определению превышения границотклонения РЦШ при работе вертолета на земле с включенными двигателями

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для указанных выше алгоритмов разработано программное обеспечение совместно с интерфейсом (рис. 5).

Значения, полученные по алгоритму определения продолжительности полета, представлены в таблице времени.

Для определения наработанного ресурса вертолета и его агрегатов необходимо количество повторяемых режимов и высот полета за общее время налета. Поэтому результатом выхода алгоритмов по выборке режимов и высот полета являются таблицы с повторяемостью высот полета и повторяемостью режимов полета (рис. 5).

Результатом расчета по алгоритму для определения превышения границы отклонения РЦШ при работе вертолета на земле с включенными двигателями является таблица с указанием времени превышения ограничения и величиной превышения. Сформированная таблица в формате Excel сохраняется в файле с названием бортового номера машины. Каждая обработанная запись полета записывается в новом листе созданного файла Excel, в котором каждому листу присваивается название, соответствующее дате полета.

Записи бортового самописца могут быть некорректными. Одна из причин некорректных записей – это нарушение работоспособности датчиков. Поэтому для проверки достоверной расшифровки записей реализовано построение графиков полета с наложением на них определенных алгоритмом режимов полета (рис. 6). Для распознавания режимов полета на графиках каждый режим обозначен индивидуальным маркером и цветом (табл. 1).

Таблица 1

Знак	Цвет	Режим полета
○	Синий	Разгон с набором
	Красный	Разгон
	Черный	Торможение со снижением
	Голубой	Торможение
☆	Розовый	Пикирование
	Зеленый	Горка
◇	Розовый	Набор
	Синий	Моторное планирование
✱	Синий	висение
	Красный	Разворот на висении влево
	Зеленый	Разворот на висении вправо
□	Красный	ГП V = 20–60 км/ч
△	Зеленый	Правый вираж с γ = 8–30 град
	Синий	Правый вираж с γ свыше 30 град
	Голубой	Левый вираж с γ = 8–30 град
	Розовый	Левый вираж с γ свыше 30 град

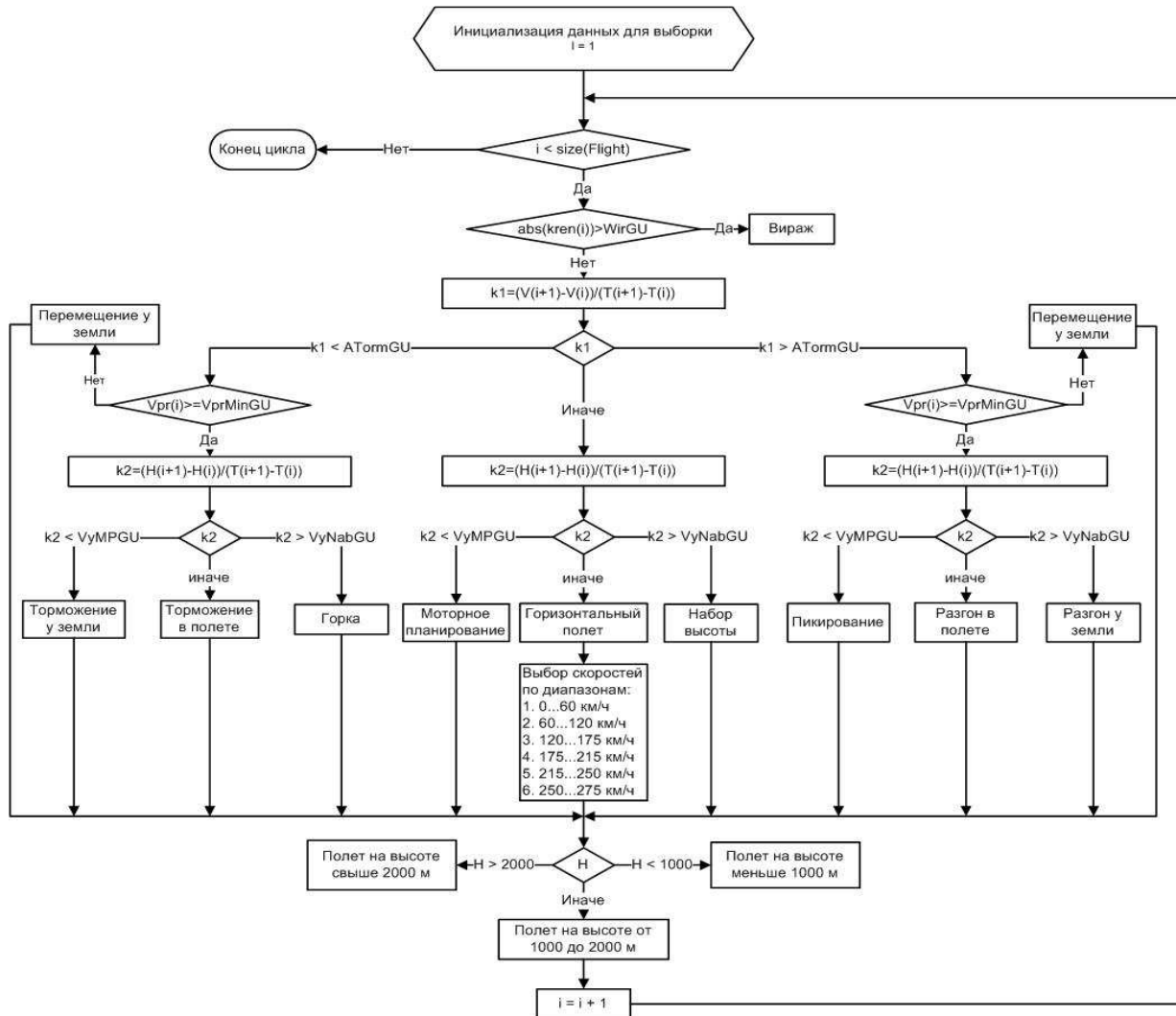


Рис. 4. Алгоритмы по выборке режимов и высот полета

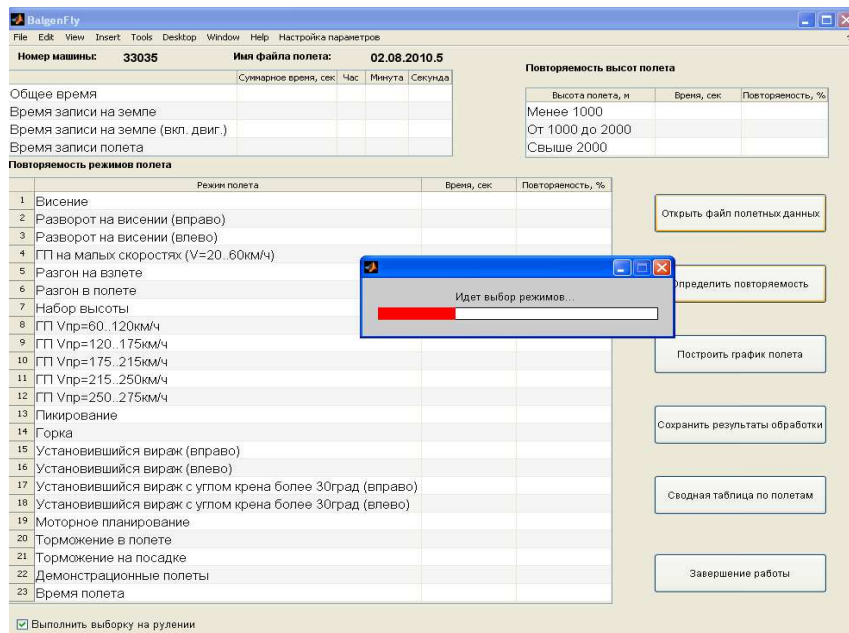


Рис. 1. Интерфейс программного обеспечения во время выборов режимов полета

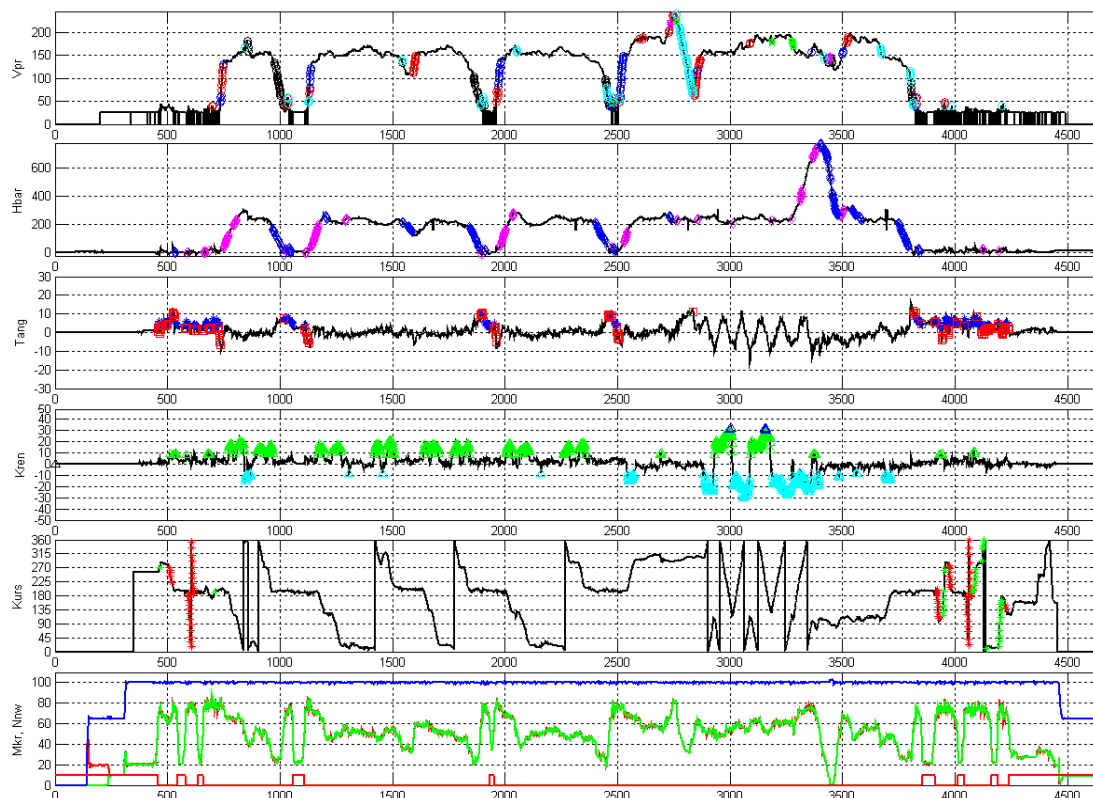


Рис. 6. Интерфейс программного обеспечения во время выборов режимов полета

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В табл. 2, 3 и 4 представлены результаты обработки записей бортового накопителя по изложенным алгоритмам.

Таблица 2

Повторяемость продолжительности полетов

Продолжительность полетов, мин	Повторяемость, %
До 30	15,4
От 30 до 60	27,7
Свыше 60	56,9

Обработаны записи полетов 6 вертолетов АНСАТ-У в период с 28.05.2010 по 11.10.2011,

в течение которого выполнено 890 полетов с общим временем налета 942 часа 5 минут.

Таблица 3

Повторяемость высот полета

Высота полета, м	Повторяемость, %
Менее 1000	98,6
От 1000 до 2000	1,36
Свыше 2000	0,04

Необходимо отметить, что даже при автоматизации, обеспечиваемой изложенными алгоритмами, обработка результатов полетов занимает около 10...15 минут на один полет.

Таблица 4

Время выполнения и повторяемость режимов полета

Режимы полета	Время, с	Повторяемость, %
Висение	99784	2,94
Разворот на висении (вправо)	7674	0,28
Разворот на висении (влево)	6522	0,24
ГП на малых скоростях ($V = 20..60$ км/ч)	204071	6,02
Разгон на взлете	44174	1,30
Разгон в полете	148078	4,37
Пикирование	18362	0,54
Горка	21237	0,63
Набор высоты	255224	7,63
ГП $V_{np} = 60..120$ км/ч	119436	3,52
ГП $V_{np} = 120..175$ км/ч	495152	14,60
ГП $V_{np} = 175..215$ км/ч	857833	25,29

Окончание табл. 4

ГП $V_{пр} = 215..250$ км/ч	113468	3,35
ГП $V_{пр} = 250..260$ км/ч	29379	0,87
Установившийся вираж (вправо)	245453	7,24
Установившийся вираж (влево)	229940	6,78
Установившийся вираж с углом крена более 30 град (вправо)	121	0,00
Установившийся вираж с углом крена более 30 град (влево)	133	0,00
Моторное планирование	285888	8,53
Торможение в полете	147835	4,35
Торможение на посадке	51507	1,52
Время полета	3391551	100,00

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Результаты сертификационных заводских испытаний вертолета «АНСАТ» АНС.0000.000.РА 0105.

2. Акт № 11/206102-003 по государственным совместным испытаниям опытного учебно-тренировочного вертолета первоначальной подготовки (УТВ ПНП) АНСАТ-У.

ОБ АВТОРАХ

Безбрызгов Максим Викторович, начальник бригады аэродинамики отдела расчетов ОАО «Казанский вертолетный завод».

Алеев Раис Минзайтович, инженер-конструктор бригады аэродинамики отдела расчетов ОАО «Казанский вертолетный завод»