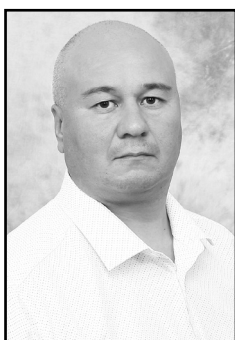




## Моделирование деятельности лётных экипажей вертолётов в аварийных ситуациях



Анатолий САФОНОВ



Вячеслав ДЖАКСБАЕВ

*Сафонов Анатолий Анатольевич – Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Сызрань, Россия.*

*Джаксбаев Вячеслав Абдулаевич – Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Сызрань, Россия\*.*

При решении вопросов обеспечения безопасности полётов объектами научного исследования выступают авиационные системы различного масштаба. Предметом изучения теории безопасности полётов являются функционирование конкретной авиационной системы «экипаж–воздушное судно» (Э–ВС), выявление и оценка опасных факторов, а также их локализация или устранение.

Защитные свойства авиационной системы «экипаж–ВС» должны обеспечивать противодействие возникновению особых ситуаций. Авиационная практика показывает, что не всегда защитные свойства системы в состоянии предотвратить развитие опасности, и катастрофа становится наиболее вероятным исходом полёта. При возникновении подобных

ситуаций экипаж в интересах снижения тяжести авиационных происшествий (АП) и предотвращения собственной гибели должен применить средства спасения. В статье представлены результаты сетевого моделирования алгоритма деятельности лётчика и определения вероятности своевременного вынужденного покидания вертолёта со спасательным парашютом.

Целью исследования является оценка эффективности защитных свойств системы Э–ВС на вертолётах в интересах снижения тяжести авиационных происшествий. Для проверки гипотезы о возможности применения экипажами вертолётных средств спасения использовались вероятностно-статистические и экспериментально-расчётные методы исследования.

**Ключевые слова:** транспорт, авиация, вертолёты, аварийная ситуация, средства спасения, парашютная система, вероятность, алгоритм.

\*Информация об авторах:

**Сафонов Анатолий Анатольевич** – кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории психологического и педагогического обеспечения обучения лётного состава филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Сызрань, Россия, [safonov.tt@yandex.ru](mailto:safonov.tt@yandex.ru).

**Джаксбаев Вячеслав Абдулаевич** – кандидат технических наук, начальник кафедры аэродинамики и динамики полёта филиала Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Сызрань, Россия, [dzhaksbaev@mail.ru](mailto:dzhaksbaev@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 28.05.2019, принята к публикации 15.08.2019.

For the English text of the article please see p. 266.

С начала XXI века в авиационных стандартах [1, 2], регламентирующих управление безопасностью полётов, активно используется концепция «приемлемого риска» на основе вероятностного подхода. Однако применение вероятностно-статистических методов оценки безопасности функционирования авиационной системы является привилегией специалистов по расследованию аварий и катастроф, что, безусловно, сказывается на процессе обеспечения безопасности систем эксплуатантами авиационной техники. Анализ причин большого числа произошедших в последнее время с вертолётами авиационных событий, в том числе и с гражданскими, показал, что традиционная методика подготовки лётного состава к действиям в особых случаях не в полной мере отвечает современным требованиям. Актуальность исследований обусловлена необходимостью обучения авиационных специалистов методам оценки опасности на предмет вероятности риска безопасности и серьёзности последствий в процессе эксплуатации летательных аппаратов (ЛА).

В работе А. Г. Агроника и Л. И. Эренбурга отмечено, что «...изучение статистических материалов по авариям привело зарубежных специалистов к решению, свидетельствующему, что возможность использования средств аварийного покидания на вертолётах ограничена особенностями его боевого применения на предельно малых высотах и сравнительно больших скоростях, а также сложностями принятия лётчиком решения на покидание» [3, с. 168]. Действительно, в результате активного применения авиации США во Вьетнаме (1964–1975 гг.) было утрачено 5607 вертолётов, общая численность погибших пилотов превысила две тысячи человек [4], что и послужило основой для реализации идей противоударной защиты экипажей вертолётов.

Изучение конструктивных особенностей вертолётов ведущих западных производителей Airbus Helicopters, Boeing, Sikorsky Aircraft Corporation, Leonardo (Augusta Westland), Bell Helicopter показало, что наиболее эффективным средством спасения лётного состава являются системы пассивной защиты, основанные на применении специальных устройств,

поглощающих энергию удара при аварийной посадке. Базовые принципы обеспечения выживаемости экипажей вертолётов изложены в работе Д. Ф. Шанахана (D. F. Shanahan) [5].

Главными причинами гибели экипажей вертолётов при возникновении авиационных происшествий названы: ударная нагрузка (чрезмерное ускорение); непосредственная травма от контакта с твёрдыми поверхностями; воздействие внешних факторов окружающей среды после аварийной посадки (огонь и продукты горения, вода, вредные и токсичные вещества и пр.). Следовательно, эффективные конструкции ЛА должны обладать набором свойств, способным защитить экипаж и пассажиров от воздействия возможных источников травмирования как в процессе аварийной посадки, так и от её негативных последствий [6–9].

На вертолётах UH-60 Black Hawk и AH-64 Apache установлены амортизационные стойки шасси с двухступенчатой амортизацией, которые позволяют снизить воздействие удара до 60 % и обеспечивают выживание экипажей при приземлении со скоростью до 12,8 м/с. В дальнейшем ударная нагрузка гасится за счёт энергопоглощающих устройств кресел и деформации конструкции вертолёта. Элементы крепления силовых агрегатов предотвращают смещение двигателей и главного редуктора во внутреннее пространство фюзеляжа при ударе вертолёта о землю. Топливная система отличается повышенной живучестью. Автоматическая герметизация трубопроводов уменьшает вероятность возникновения пожара. Конструктивные элементы шасси вертолёта удалены от топливных баков и при ударе о землю не проникают внутрь фюзеляжа. В настоящее время активно рассматривается вопрос об оборудовании кабин вертолётов «подушками» безопасности (airbag).

Анализ существующих бортовых систем спасения экипажей отечественных вертолётов свидетельствует, что наряду с оборудованием отдельных типов ЛА системами противоударной защиты [10; 11], спасательные парашютные системы (ПС) по-прежнему остаются в эксплуатации.

Эффективность средств аварийного покидания ЛА определяется целым рядом



случайных величин, расчёты которых выполняются с применением теории вероятности и математической статистики. Установлено, что наиболее полно оценить эффективность применения средств спасения позволяет показатель вероятности спасения лётчика [12], попавшего в аварийную ситуацию, который определяется по формуле:

$$W_{\text{сп}} = W \cdot P_{\text{прим}}, \quad (1)$$

где  $W$  — вероятность спасения лётчика при применении средств спасения;

$P_{\text{прим}}$  — вероятность применения средств спасения в аварийной ситуации.

Вероятность спасения  $W$  можно представить в виде функции:

$$W = \begin{cases} f[v, v_y, H, \gamma, \theta, \omega_x, \omega_y, \omega_z, n_y] \\ f[v_0, t_n, u, p, A] \end{cases} \quad (2)$$

где  $v, v_y, \gamma, H, \theta, n_y$  — функции распределения параметров полёта вертолёт (горизонтальной и вертикальной составляющих), крен, тангаж, высоты полёта;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$  — угловые скорости вращения во всех проекциях;

$n_y$  — воздействие нормальной перегрузки на ЛА и на лётчика при возникновении аварийной ситуации; функции распределения параметров падения тела лётчика;

$v_0$  — начальная скорость при отделении от вертолёт;

$t_n$  — время нахождения тела лётчика в зоне досягаемости лопастей несущего винта вертолёт (НВ);

$u$  — горизонтальная составляющая скорости падения лётчика;

$p$  — тангенс угла падения;

$A$  — величина отбоя от первоначальной точки отделения от вертолёт.

Критериями вероятности применения ПС служат временные характеристики действий лётчика (оператора) при возникновении аварийных ситуаций:

$$P_{\text{пр}} = f[t_{\text{потр}}, t_{\text{лим}}, \tau_{\text{оп}}], \quad (3)$$

где  $t_{\text{потр}}, t_{\text{лим}}$  — соответственно, потребное и лимитированное (располагаемое) время для предотвращения катастрофических последствий аварийной ситуации;

$\tau_{\text{оп}}$  — быстродействие человека-оператора.

Требуемое время на выполнение необходимых действий определяется выражением:

$$t_{\text{потр}} = t_{\text{об}} + t_{\text{оц}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{пок}}, \quad (4)$$

где  $t_{\text{об}}$  — время обнаружения восприятия и декодирования информации;

$t_{\text{оц}}$  — время оценки и переработки информации;

$t_{\text{пр}}$  — формирование концептуальной модели деятельности и принятие решения;

$t_{\text{пок}}$  — время на практическую реализацию принятого решения.

Определение располагаемого времени, необходимого для реализации действий, направленных на применение ПС, зависит от большого количества факторов в каждой конкретной аварийной ситуации. Многолетние наблюдения позволили сделать вывод, что к катастрофическим последствиям на вертолётах приводят: отказы трансмиссии (главного, промежуточного и хвостового редукторов); повреждения несущего и рулевого винтов; отказ основной и дублирующей гидросистем; разрушение элементов системы управления. Развитие особых ситуаций происходит корототечно и требует незамедлительного применения парашютных систем для спасения экипажей при наличии высоты, обеспечивающей применение ПС.

Для разработки модели деятельности члена экипажа вертолёт при возникновении аварийной ситуации и применении ПС воспользуемся сетевым методом [13; 14].

Спрогнозировать и определить вероятность своевременного выполнения действий по вынужденному покиданию вертолёт при наличии заданного норматива  $t_{\text{лим}}$ , можно с помощью выражения:

$$q(t) = P\{\tau_{\text{оп}} \leq t\} = \int_0^t f(\tau) d\tau, \quad (5)$$

где  $t = t_{\text{лим}}$  — нормативно определённое располагаемое время выполнения действий.

Деятельность лётчика подразделяется на элементарные операции [15; 16]. При выполнении сетевого моделирования они называются работами, а моменты их завершения — событиями. Каждая операция характеризуется математическим ожиданием и дисперсией продолжительности работы. При условии независимости отдельных операций, величина быстродействия  $\sigma_{\text{оп}}$  характеризуется параметрами, подчинёнными нормальному закону распределения:

$$\bar{\tau}_{\text{оп}} = \sum_{ij} \bar{\tau}_{ij}; \quad \sigma_{\tau} = \sqrt{\sum_{ij} \sigma_{ij}^2}, \quad (6)$$

**Таблица 1**

**Временные характеристики деятельности командира экипажа вертолѐта Ми-8 в особой ситуации (разрушение привода РВ)**

Код операции	Содержание операции (работы)	$\bar{t}_j$ , мс	$\sigma_j$ , мс
1–2	Восприятие вестибулярного сигнала (стимула) от эволюций вертолѐта	320	30
2–3	Перенос взгляда на внекабинное пространство	260	30
3–4	Оценка пространственного положения и принятие решения на устранение отклонений вертолѐта	800	120
4–5	Перемещение рычага шаг-газ вниз	660	50
4–6	Отклонение ручки управления влево и на себя	660	70
4–7	Считывание и восприятие показаний приборов	2090	150
7–8	Поиск, обнаружение и восприятие светосигнального табло «ОТКАЗ»	790	50
8–9	Оценка информации и выделение совокупности информативных признаков	800	280
9–10	Актуализация из памяти сигнала о сложившейся ситуации	900	390
10–11	Формирование концептуальной модели деятельности и принятие решения на покидание вертолѐта	1900	650
11–12	Подача команды на вынужденное покидание (4–5 слов)	2000	1200
11–13	Перенос взгляда на внекабинное пространство	260	30
13–14	Оценка пространственного положения вертолѐта	800	70
14–15	Перенос взгляда на рукоятку сброса левого блистера	260	30
15–16	Левую руку перенести с РШГ на рукоятку сброса блистера	480	50
16–17	Левой рукой выдернуть рукоятку аварийного сброса блистера	360	50
17–18	Левой рукой опереться в нижний левый угол проѐма	280	30
15–19	Перенос взгляда на замок привязных ремней	260	30
19–20	Правую руку перенести с РУ на замок привязных ремней	240	30
20–21	Правой рукой расстегнуть замок привязных ремней	560	70
21–22	Перенос взгляда на полумягкую петлю	260	30
22–23	Правой рукой взяться за полумягкую петлю в верхнем проѐме блистера	400	30
18–24	Правую ногу вынести в проход между сиденьями	750	100
24–25	Приподняться, вывести парашют из чашки сиденья	950	300
25–26	Развернуться влево лицом к проѐму, поворот корпуса на 90°	720	70
26–27	Поставить левую ногу на чашку сиденья	750	250
25–28	Перенос взгляда на указатель истинной высоты полѐта	260	30
28–29	Считывание показателей радиовысотомера	480	70
29–30	Контроль покидания членами экипажа	540	150
27–31	Толчком обеих ног с одновременным движением рук к себе отделиться от вертолѐта	740	200
31–32	Выдергивание вытяжного кольца	3000	500
32–33	Раскрытие парашюта	1000	100



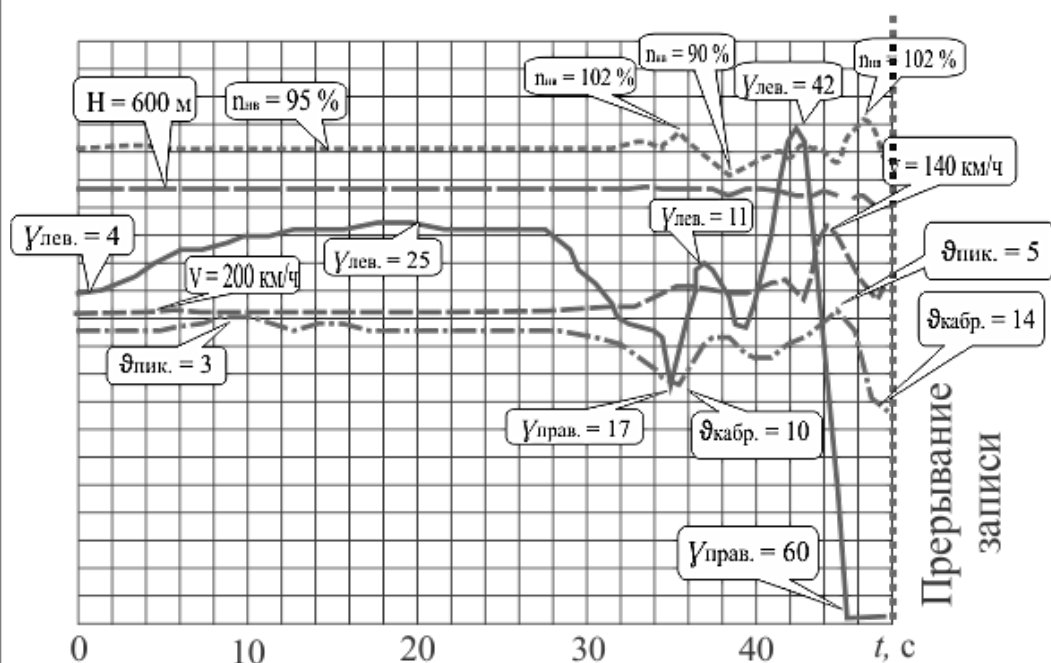


Рис. 1. Фрагмент САПП программы авиационного происшествия вертолѐта Ми-8 (разрушение привода рулевого винта).

где  $\bar{\tau}_{оп}$  и  $\sigma_{\tau}$  — соответственно математическое ожидание и дисперсии продолжительности операций.

Общее время выполнения задачи по вынужденному покиданию вертолѐта равно сумме продолжительности операций или критическому пути (алгоритму) сетевой модели  $L_i$ :

$$\tau_{оп} = \max L_i. \quad (7)$$

Для проведения моделирования выбрана деятельность командира экипажа вертолѐта Ми-8 при возникновении особой ситуации в полѐте, связанной с разрушением привода рулевого винта (РВ). Приняты допущения, что полѐтное задание выполняется по правилам визуального полѐта (ПВП) на высоте не менее 500 м. Выполняемые лѐтчиком операции — без-

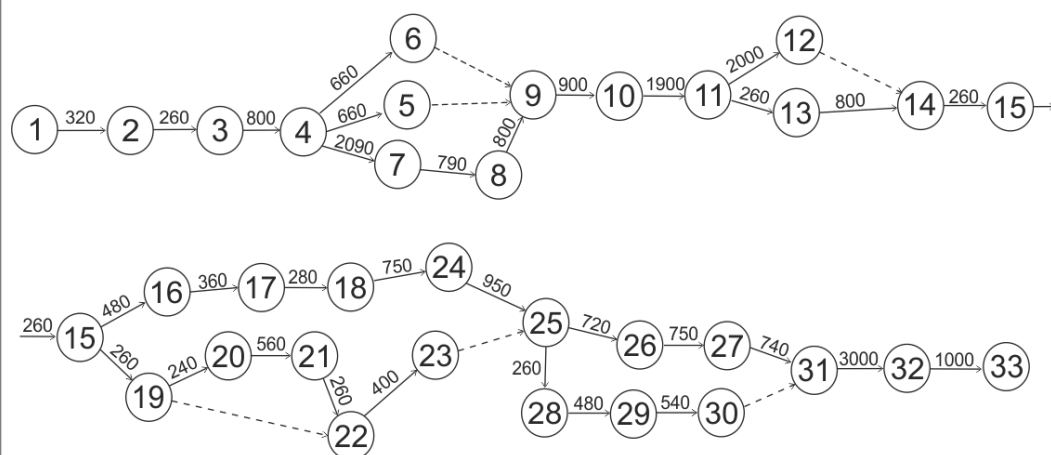


Рис. 2. Сетевая модель деятельности командира экипажа при разрушении привода рулевого винта и вынужденном покидании вертолѐта Ми-8.

ошибочные. Последовательность операций и их временные характеристики представлены в таблице 1.

Первоначальными признаками, характеризующими разрушение в полёте РВ, являются эволюции вертолёт в пространстве. ЛА резко разворачивается влево, изменения углов крена и тангажа достигают предельных значений за короткое время (рис. 1).

Первоначальной реакцией лётчика, находящегося в контуре управления, как правило, является интуитивное желание восстановить пространственное положение вертолёт, воздействуя на органы управления (операции 4–5, 4–6). Разработанная сетевая модель (рис. 2) учитывает последовательно-параллельный характер выполнения отдельных сенсорно-моторных, моторных и логических операций.

Операции (25–28, 28–29) необходимы для определения истинной высоты покидания вертолёт и выдерживания времени в свободном падении до раскрытия ПС. Критический путь для модели 1–2, 2–3, 3–4, 4–7, 7–8, 8–9, 9–10, 10–11, 11–13, 13–14, 14–15, 15–19, 19–20, 21–22, 22–23, 18–24, 24–25, 25–26, 26–27, 27–31.

Движение тела после отделения вертолёт (31–32) и раскрытие парашюта (32–33) не учитываются в продолжительности деятельности лётчика.

Вероятность применения ПС определяется выражением:

$$P_{\text{пр}} = P\{\tau_{\text{оп}} \leq t_{\text{лим}}\} = \int_0^{t_{\text{лим}}} f(\tau) d\tau = \Phi_0\left(\frac{\bar{\tau}_{\text{оп}}}{\sigma_{\tau}}\right) + \Phi_0\left(\frac{t_{\text{лим}} - \bar{\tau}_{\text{оп}}}{\sigma_{\tau}}\right), \quad (8)$$

где  $t_{\text{лим}}$  — нормативное время выполнения алгоритма действий. Использовались нормативы тренажёрной подготовки по оценке действий лётчика в особых ситуациях в полёте.

Вероятность своевременного покидания вертолёт при установленном лимите  $t_{\text{лим}} = 15$  с составит  $P_{\text{св}} = 52\%$ , при увеличении лимита времени до 20 с, соответственно и вероятность применения ПС возрастет до 96 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования и созданная на их основе сетевая модель деятельности

лётчика при возникновении аварийной ситуации позволяют более точно определить способы спасения лётных экипажей вертолёт в целях снижения степени тяжести авиационных происшествий. На этой основе можно развивать рациональные методические приёмы контраварийной подготовки лётного состава.

Для обоснования вероятности спасения лётных экипажей потребуется универсальная математическая модель, учитывающая динамику всех задействованных объектов (вертолёт, лётчика, ПС) в аварийных ситуациях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полётов. ИКАО, 2013. — 44 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полётов (РУБП). Дос. 9859. ИКАО, 3-е изд., 2013. — 300 с.
3. Агроник А. Г., Эренбург Л. И. Развитие авиационных средств спасения. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.
4. Helicopter Losses During the Vietnam War. Updated 31 December 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.vhpa.org/heliloss.pdf>. Доступ 01.03.2019.
5. Shanahan D. F. Basic Principles of Helicopter Crashworthiness. USAARL Report No. 93–15. United States Army Aeromedical Research Laboratory Fort Rucker, Alabama, February 1993.
6. Coltman J. W. Rotorcraft crashworthy airframe and fuel system technology development program: Final Report. DOT/FAA/CT-91/7. Simula Inc. Phoenix, October 1994.
7. Joint Service Specification Guide (JSSG-2010-7).
8. Fox R. G. Helicopter Crashworthiness. Part One, Flight safety foundation. Helicopter safety, November/December 1989.
9. Aircraft design crash guide. Volume II Impact conditions and human tolerance. SIMULA INC. Final Report, December 1989.
10. Система парашютная спасательная ПС-37А. Руководство по технической эксплуатации 19490-84 РЭ. ФГУП НИИ парашютостроения, 1992.
11. Руководство по лётной эксплуатации вертолёт Ми-28Н. Книга 1. Лётная эксплуатация. — 2003. — 232 с.
12. Котляр Ю. Л. Методы оценки эффективности средств спасения и обеспечения безопасности экипажа при аварийном покидании вертолёт // Проблемы безопасности полётов. — 2008. — № 8. — С. 50–55.
13. Смирнов Б. А. Инженерная психология. Практические занятия: Учеб. пособие для университетов. — Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979. — 192 с.
14. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. — М.: Машиностроение, 1982. — 368 с.
15. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек–техника. — М.: Машиностроение, 1983. — 263 с.
16. Коваленко Г. В., Микинелов А. Л., Чепига В. Е. Лётная эксплуатация: Учеб. пособие для вузов гражданской авиации. — М.: Машиностроение, 2007. — 416 с.

