

# АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ САМОЛЁТОМ ИЛ-76

**О. Ю. Жабунина** кандидат технич. наук, **М. В. Никульшин** кандидат технич. наук,  
**О. С. Путилин** кандидат технич. наук

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», г. Снежинск

Для оперативного транспортирования грузов в удалённые и труднодоступные места часто используются самолёты типа Ил-76. При этом не исключено возникновение аварийных ситуаций, сопровождающихся падением и столкновением самолёта с преградой. Если транспортируемый груз является опасным, то есть содержит токсичные, взрывчатые или радиоактивные вещества, то вопрос о его состоянии в условиях интенсивных ударных воздействий важен с точки зрения безопасности окружающей среды.

Для разработки эффективных конструктивных мер по разработке прочных и надёжных упаковок для таких грузов требуется знать уровень перегрузок, который реализуется на упаковках в случае реализации аварийных ситуаций.

В докладе проводится анализ произошедших к настоящему времени аварийных ситуаций (падений) самолёта Ил-76 и численным моделированием оценивается уровень нагруженности при этом перевозимых грузов.

## 1. Анализ аварийных ситуаций (падений) самолёта Ил-76

Начало разработки самолёта Ил-76 датируется 1966 г, и уже в 1971 г. был выпущен первый опытный образец самолёта. В 1976 г. самолёт Ил-76 принят на вооружение, в гражданской авиации он начал регулярно использоваться с 1977 г. [1].

С 1979 г. ведётся отсчёт аварийных падений самолёта. Первые катастрофы связа-

ны с вводом советских войск в Афганистан. К настоящему времени произошло 50 катастроф, из них 25 – с самолётами Ил-76 СССР (России), и 25 катастроф с самолётами Ил-76, эксплуатирующимися за рубежом, см. рисунок 1 [1, 2].

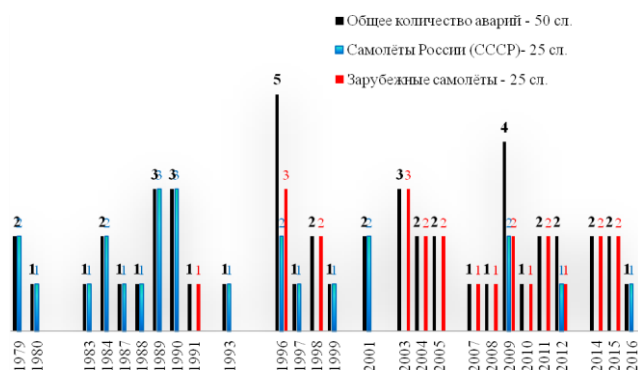


Рис. 1. Количество аварийных падений самолёта Ил-76 за время его эксплуатации

Причины катастроф можно условно разделить следующим образом:

- потери в результате военных действий, диверсий, учений;
- погодные факторы;
- технические неисправности;
- ошибки экипажа, диспетчеров.

Рассмотрим причины и условия аварийных падений самолёта Ил-76 подробнее.

К настоящему времени в результате военных действий, диверсий, учений было потеряно 13 самолётов:

- 10.1984, 11.1984, 06.1990 в Афганистане, 04.2003 в Иране, 03.2005 в Танзании, 03.2007 в Сомали, 08.2011, 07.2014, 01.2015 в Ливии, 06.2014 в Луганске, 03.2015, 05.2015 в Йемене – сбиты ракетами;

## Потери самолётов Ил-76 в результате действия неблагоприятных погодных факторов

№	Дата	Место	Причины и условия аварии	Параметры столкновения
1	08.1989	Новгородская область	При учениях самолёт попал в зону грозовых разрядов, вследствие чего было нарушено его управление. Самолёт с этапа набора высоты ( $H \approx 1,3$ км) перешёл на пикирование и столкнулся с землёй.	$v \leq 110$ м/с
2	11.2014	Конго	Сильные порывы ветра при грозе.	
3	04.1983	Тарту	В результате попадания в густой приземный туман при посадке произошло «жёсткое» приземление, самолёт разрушился.	$v \leq 90$ м/с
4	01.2003	Восточный Тимор	Из-за плохой видимости самолёт при посадке упал в джунгли.	
5	07.2016	Иркутская область	При тушении пожаров самолёт, попав в область задымления, столкнулся с горой.	$v \leq 90$ м/с

– 07.1993 в Пскове при учениях самолёт на взлёте осуществлял разворот над полигоном, где проводились стрельбы. В результате попадания снаряда произошло возгорание самолёта и падение.

В силу преднамеренности катастроф при военных действиях в дальнейшем эти случаи в общей статистике учитываться не будут.

В результате действия неблагоприятных погодных факторов было потеряно 5 самолётов, см. таблицу 1.

Практически все указанные факторы (гроза, туман, дым) действуют на незначительной высоте от поверхности земли. Так высота грозовых туч, как правило, не превышает 2,5 км. Для оценки скорости удара самолёта о землю при аварийном падении используется график зависимости скорости самолёта  $v$  от высоты полёта  $H^1$  (см. рису-

нок 2). Если известно, что авария произошла на начальном этапе взлёта или конечном этапе посадки, то принимается  $v \leq 90$  м/с. Максимальные величины полученных скоростей приводятся в правых столбцах таблиц 1–3.

Таким образом, в случае катастрофы самолёта в результате грозы величина  $H \leq 2,5$  км, что соответствует скорости  $v \leq 130$  м/с.

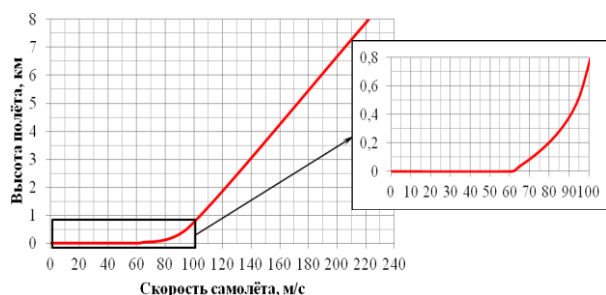


Рис. 2. График зависимости скорости самолёта от высоты полёта

<sup>1</sup> При отрыве от земли (приземлении) продольная скорость самолёта –  $v \approx 58$  м/с, на высоте  $H = 25$  м –  $v \approx 64$  м/с, при  $H = 0,6$  км –  $v \approx 97$  м/с [1, 2]. При дальнейшем наборе самолётом высоты до крейсерской ( $H = 8$  км –  $v \approx 220$  м/с) или при его снижении с этапа крейсерского полёта предполагается, что зависимость  $H(v)$  линейная.

В результате технических неисправностей при полёте было потеряно 9 самолётов Ил-76, см. таблицу 2.

## Потери самолётов Ил-76 в результате технических неисправностей при полёте

№	Дата	Место	Причины и условия аварии	Параметры столкновения
1	11.1979	Витебск	Разрушение трансмиссии левого закрылка. Самолёт задел землю левой плоскостью, разрушился и сгорел.	$v = 42\text{ м/с}$
2	04.1980	Витебск	Несинхронный выпуск закрылков. При заходе на посадку самолёт перевернулся и столкнулся с землёй.	$v \leq 90\text{ м/с}$
3	10.1989	Баку	На высоте 1,6 км загорелся и разрушился двигатель (разрушение подшипника), его осколки пробиты топливный бак, что привело к пожару и разрушению крыла. Самолёт на этапе посадки упал в море.	
4	08.1996	Югославия	Отказ электросистемы самолёта. При посадке самолёт столкнулся с землёй.	
5	07.1998	ОАЭ	Отказ двигателей при взлёте.	
6	06.2008	Судан		
7	12.2001	Хабаровский край	В результате пожара на борту самолёт разрушился на высоте 7 км.	
8	09.2009	Иран	Загорание двигателя, частичное повреждение и разрушение фюзеляжа. При посадке самолёт столкнулся с землёй.	$v \leq 90\text{ м/с}$
9	11.2009	Якутия	На взлёте в результате отказа рулевой системы самолёт столкнулся с горой и сгорел.	$H = 20\text{ м},$ $v \leq 64\text{ м/с}$

Максимальное количество самолётов - 23 было потеряно вследствие ошибок экипажа, диспетчеров, см. таблицу 3.

Следует отметить, что из рассмотренных катастроф около половины сопровождались пожарами.

Практически во всех катастрофах экипаж и пассажиры погибли. Счастливое исключение составил случай № 4, приведённый в таблице 3 (при подлёте к Ленинану самолёт на высоте около 1.4 км столкнулся со склоном горы). Скорость столкновения, согласно графику рисунка 2, оценивается величиной  $v \approx 110\text{ м/с}$ . При этом погибли экипаж и 60 военных, призванных из запаса для ликвидации последствий землетрясения в Армении. В живых остался один пасса-

жир, спавший в кузове грузовика, транспортируемого в хвостовой части грузового отсека самолёта. Этот факт позволяет заключить, что наличие дополнительной конструктивной защиты с развитой системой амортизации (в данном случае автомобиля) может в условиях аварии существенно снизить действующую нагрузку на перевозимые в самолёте объекты.

Анализ данных 37 катастроф самолётов Ил-76 позволяет сделать следующие выводы:

- 1) их причины обусловлены:
  - 14% случаев погодными факторами (гроза, туман, задымление),
  - 24% - техническими неисправностями при полёте (несрабатывание закрылков, от

Таблица 3

## Потери самолётов Ил-76 в результате ошибок экипажа, диспетчеров

№	Дата	Место	Причины и условия аварии	Параметры столкновения
1	12.1979	Кабул	Столкновение с горой вследствие ошибок пилотов и (или) превышения массы груза, перевозимого в самолёте.	$v \leq 140$ м/с
2	11.2005			
3	07.2011			
4	12.1988	Ленинакан		
5	04.1996	Петропаловск-Камчатский		
6	11.1996	Абакан		
7	07.1998	Эфиопия		
8	02.2003	Иран		
9	04.1987	Джанкой		
10	11.1996	Дели		
11	01.2009	Махачкала		
12	10.1989	Ленинакан	Ошибка задания исходных данных (давления, высоты) на приборах. Столкновение с землёй при посадке.	$v \leq 90$ м/с
13	02.1990	а/д Паневежис	Потеря управления на вираже при тренировочном полёте.	$v \approx 140$ м/с, вертикальная составляющая – $v_B = 40$ м/с.
14	03.1990	Кабул	При посадке перевернулся, столкнулся с землёй и взорвался.	$v \leq 90$ м/с
15	05.1991	Иран	Нехватка топлива, не долетел до ВПП.	
16	07.1999	Иркутск	При взлёте не набрав высоту, снёс несколько строений авиапорта и, оставив борозду 500м, остановился. Пассажиры и экипаж остались живы.	
17	05.2004	Китай	При взлёте из-за превышения массы не смог набрать высоту ( $H \approx 150$ м).	
18	07.2001	а/д Чкаловский	Ошибка пилотирования при взлёте.	
19	06.1996	Конго	Невыпуск закрылков при взлёте.	
20	01.1997	Анадырь		
21	03.2004	Баку	Несогласованные действия экипажа при взлёте.	
22	03.2009	Уганда	Сразу после взлёта самолёт упал в озеро.	
23	11.2010	Пакистан		

отказ двигателя, электрической или рулевой систем),

– 62% ошибками экипажа, диспетчеров (ошибки пилотирования, превышение взлётной массы самолета, невыпуск закрылков, несогласованность действий экипажа, диспетчеров, ошибки задания исходных данных на приборах);

2) скорость столкновения самолёта с преградой в большинстве аварийных случаев (60%) не превышает 90 м/с, в отдельных случаях скорость достигала от 110 до 140 м/с;

3) преграды, с которыми сталкивался самолёт в результате аварийного падения, представляли собой: грунт (36% случаев), гору (28%), асфальто-бетонное покрытие (10%), водоём (8%).

## 2. Расчётная оценка величин перегрузок на упаковках с грузами, перевозимых в самолёте Ил-76, в условиях аварийного падения

По результатам ранее проведённых исследований [3, 4] было получено следующее:

1) Разработана конечно-элементная модель (КЭМ) самолёта Ил-76 (см. рисунок 3), отражающая его габаритно-массовые параметры и нагружение преграды, соответствующее аналитической оценке [5]. В модели упаковки с грузами были представлены в виде трёх габаритно-массовых макетов – упругих твёрдотельных элементов в виде кубов со стороной 1,5 м, массой 2 т;

2) Решены задачи столкновения самолёта с абсолютно жёсткой преградой на скорости до 240 м/с с углами подлёта к преграде  $\varphi$  от 0 до 90°;

3) Определено влияние на нагруженность упаковок материала преград (бетона, гранита, глины, гравийно-галечника);

4) Наиболее интенсивное воздействие на упаковки реализуется при фронтальном ударе самолёта о преграду из бетона со ско-

ростью  $v = 240$  м/с, максимальная перегрузка на упаковках достигает  $1,5 \cdot 10^4$  ед.

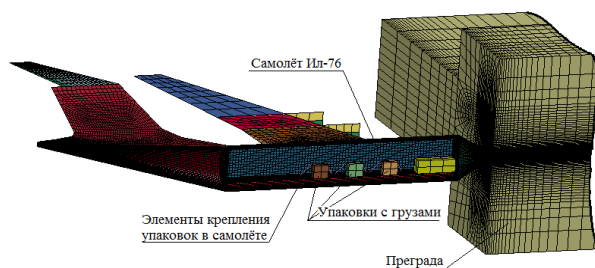


Рис. 3. Конечно-элементная модель задачи столкновения самолёта Ил-76 с преградой

На основании ранее разработанной КЭМ самолёта Ил-76 проведено моделирование аварийных ситуаций самолёта Ил-76 – фронтального ( $\varphi=0$ ) столкновения с бетонной преградой на скоростях от 90 до 140 м/с, а также при  $\varphi=40^\circ$ . Как было показано в [3], при  $\varphi=40^\circ$  возможен рост перегрузок на упаковках вследствие снижения амортизационного хода самолёта со стороны его днища.

На рисунке 4 показано деформированное состояние КЭМ самолёта при  $v = 140$  м/с,  $\varphi = 0$  на различные моменты времени  $t$ .

В результате удара о преграду самолёт разрушается наполовину (часть крыла и хвостовой отсек самолёта сохраняются). В грузовом отсеке происходит обрыв элементов крепления упаковок, взаимодействие упаковок между собой и с элементами самолёта. Максимальная перегрузка на упаковках достигает  $n^{\max}=4,3 \cdot 10^3$  ед.

По результатам расчётов при  $v$  не более 140 м/с в хвостовой части грузового отсека, которая не разрушается в результате удара самолёта о преграду, уровень перегрузок на полу не превышает 500 ед. Если в рассматриваемой части самолёта транспортируются конструкции с развитой системой амортизации (например, автомобили), и авария не сопровождается пожаром, то при нахождении человека в автомобиле, его выживание в катастрофе самолёта возможно. Это подтверждает факт, отмеченный в разделе 1.

На рисунке 5 показано деформированное состояние самолёта при  $v = 140$  м/с,  $\varphi = 40^\circ$  на различные моменты времени  $t$ ,  $n^{\max} = 4,1 \cdot 10^3$  ед.

Результаты расчётов величин  $n^{\max}$  для меньших величин скоростей приведены на

рисунке 6 в графическом виде.

По результатам расчётов при  $v$  не более 140 м/с в хвостовой части грузового отсека, которая не разрушается в результате удара самолёта о преграду, уровень перегрузок на полу не превышает 500 ед. Если в рассмат-

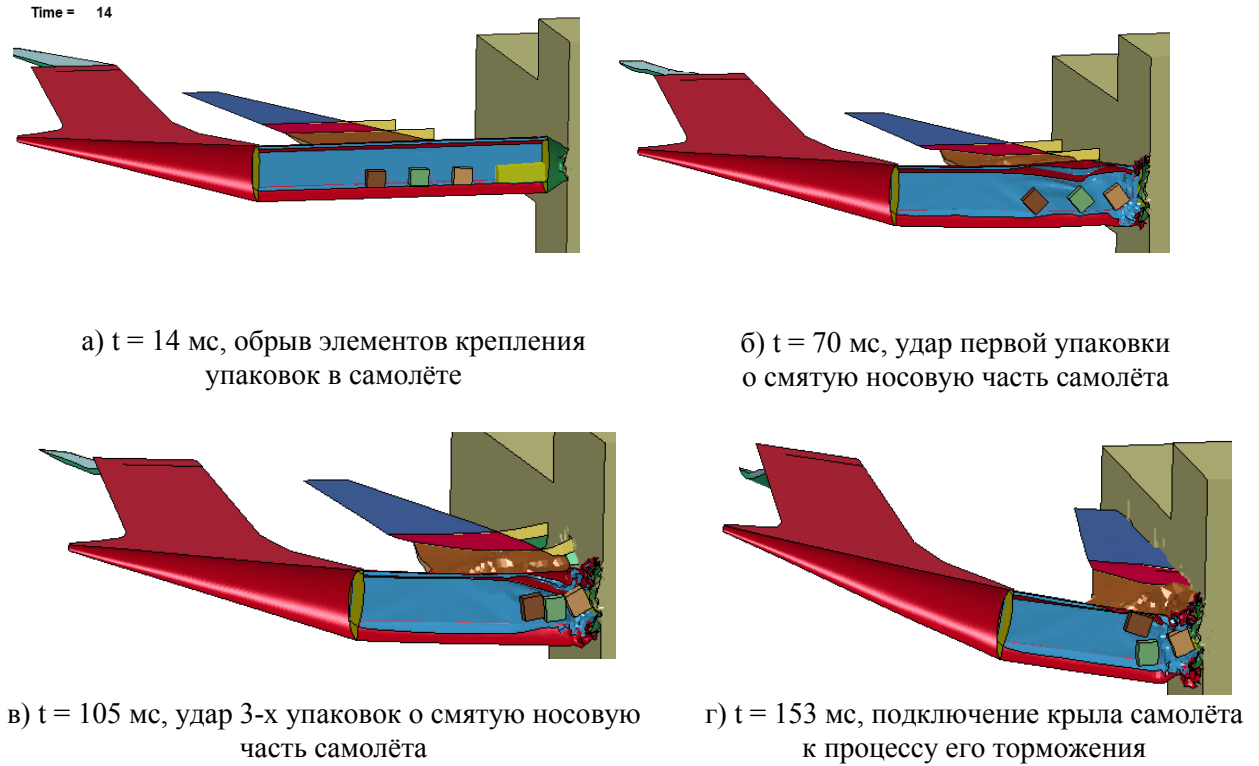


Рис. 4. Фронтальное столкновение самолёта с бетонной преградой,  $v = 140$  м/с

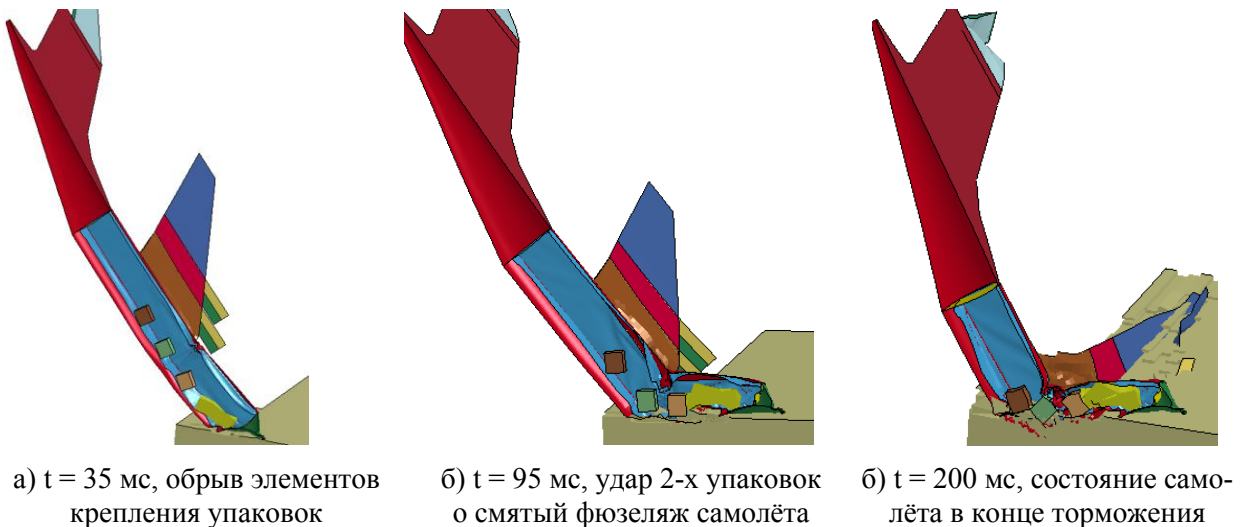


Рис. 5. Столкновение самолёта с бетонной преградой,  $v = 140$  м/с,  $\varphi = 40^\circ$

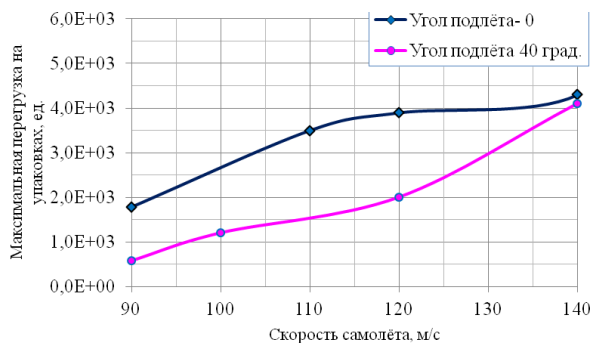


Рис. 6. График зависимости максимальной перегрузки на упаковках от скорости удара самолёта о преграду

риваемой части самолёта транспортируются конструкции с развитой системой амортизации (например, автомобили), и авария не сопровождается пожаром, то при нахождении человека в автомобиле, его выживание в катастрофе самолёта возможно. Это подтверждает факт, отмеченный в разделе 1.

### 3. Выводы

Проведён анализ данных катастроф самолётов Ил-76, произошедших к настоящему времени. По результатам сделаны следующие выводы:

1) причины катастроф обусловлены: ошибками экипажа, диспетчеров (61%), техническими неисправностями при полёте (25%), погодными факторами (14%);

2) скорость столкновения самолёта с преградой в большинстве аварийных случаев не превышает 90 м/с, но в отдельных случаях скорость достигала 110, 130, 140 м/с;

3) преграды, с которыми сталкивался самолёт в результате аварийного падения, представляли собой: грунт (36% случаев), гору (28%), асфальто-бетонное покрытие (10%), остальные – вода, лес;

4) из рассмотренных катастроф треть сопровождались пожарами.

Численное моделирование аварийной ситуации – фронтального столкновения самолёта Ил-76 с упаковками на борту с бетонной преградой на скорости от 90 до 140 м/с позволило оценить максимальную величину перегрузок на транспортируемых упаковках – 4,3 тыс. ед.

### Список литературы

1 Н. В. Якубович. Транспортный самолёт ИЛ-76: Авиаколлекция. № 11 2007 г. Приложение к журналу «Моделист-конструктор».

2 Катастрофы Ил-76/Авиапорт. Дайджест [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.aviaport.ru](http://www.aviaport.ru). – 12.07.2017.

3 Жабунина О. Ю., Натыньчик Н. М., Никульшин М. В., Путилин О. С. Оценка нагруженности упаковок с грузами при транспортной аварии самолёта Ил-76: Доклад на XV сессии отраслевой молодёжной школы-семинара «Промышленная безопасность и экология». – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2015 г.

4 Жабунина О. Ю., Натыньчик Н. М., Никульшин М. В., Путилин О. С. Влияние на нагруженность перевозимых упаковок материала преград: Доклад на XVI сессии отраслевой молодёжной школы-семинара «Промышленная безопасность и экология». – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2016 г.

5 Экстремальные воздействия на сооружения. А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер. – СПб.: Атомэнергопроект, 2009.- 600с.