

УДК 629.7.021

ББК 39.53

DOI 10.51955/2312-1327_2024_3_117

ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОХОВЫХ ЗАРЯДОВ В СИСТЕМЕ АВАРИЙНОГО ВЫПУСКА ШАССИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

*Анатолий Филиппович Пенно,
orcid.org/0009-0006-4514-2848,*

кандидат педагогических наук

*Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова*

Министерства обороны Российской Федерации,

ул. Дзержинского, 135

Краснодар, 350090, Россия

anpenno@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемные вопросы, связанные с работой системы выпуска шасси современных летательных аппаратов. Указаны некоторые специфические требования к аналогичным системам, применяемым на воздушных судах военного назначения. Предложено конструктивное решение в виде авторской разработки по использованию энергии пороховых газов в системе аварийного выпуска шасси на примере самолета Як-130. Проведен анализ дополнительного оборудования, необходимого для функционирования предложенного способа выпуска шасси, а также его влияния на летные характеристики летательного аппарата в связи с возможным увеличением массы и изменением габаритов самолета. По итогам исследования сделан вывод о возможности применения пороховых зарядов в системе аварийного выпуска шасси воздушного судна.

Ключевые слова: система выпуска шасси, пороховой заряд, цилиндр выпуска, надежность, безопасность полетов.

APPLICATION OF POWDER CHARGES IN THE EMERGENCY SYSTEM OF AN AIRCRAFT LANDING GEAR

Anatoly F. Penno,

orcid.org/0009-0006-4514-2848,

Candidate of Pedagogic sciences

*Krasnodar Air Force Institute for Pilots named
after Hero of the Soviet Union A.K. Serov of the*

Ministry of Defense of the Russian Federation

135, Dzerzhinsky Street,

Krasnodar, 350090 Russia

anpenno@mail.ru

Abstract. Problematic issues related to the operation of the landing gear system of modern aircraft are considered. Some specific requirements for similar systems used on military aircraft are indicated. A constructive solution is proposed in the form of an original development for the use of the energy of powder gases in the emergency landing gear system using the example of the Yak-130 aircraft. The author carried out an analysis of the additional equipment necessary for the operation of the proposed method of extending the landing gear, as well as its impact on the flight performance of the aircraft related to a possible increase in weight as well as changes in the

dimensions of the aircraft. Based on the results of the study, a conclusion was made about the possibility of using powder charges in the emergency system of an aircraft landing gear.

Key words: Landing gear system, powder charge, extension cylinder, reliability, flight safety.

Введение

Шасси – это одна из основных частей воздушного судна, предназначенная для восприятия и передачи на конструкцию самолета статических и динамических нагрузок, возникающих при взлете, посадке, движении по земле, буксировке, а также для обеспечения управляемости самолета при рулении [Житомирский, 2005; Киселев и др., 2014; Currey, 1988].

Современные летательные аппараты с убирающимися шасси в полете оборудованы соответствующей системой уборки и выпуска^{9, 10} [Кузьмин, 2021]. Это сложное механическое устройство [Как устроена..., 2021; Шасси летательного..., 2022], для работы которого используется, в большинстве случаев, энергия гидравлических или пневматических систем [Гидравлическая система..., 2015; Пенно, 2021], которые в свою очередь имеют определенный набор узлов и агрегатов для своего функционирования. Неисправность одного из элементов может привести к отказу системы выпуска шасси на этапе посадки самолета [Ань и др., 2021; Бекишев, 2019; Пенно и др., 2022; Zhang et al., 2014] и, как следствие, к его значительным повреждениям, разрушению и человеческим жертвам.

Для исключения подобных отказов и повышения надежности воздушного судна в целом в настоящее время применяются различные способы дублирования выпуска шасси. К ним относятся механический выпуск, применение нескольких гидравлических систем, использование аварийной пневматической системы и т.п.¹¹ [Кондратьева и др., 2022; Патент № 2780009 С1..., 2022; Фролов и др., 2023]. Это значительно улучшило ситуацию, но не привело к полному исключению отказов выпуска шасси. В связи с этим актуальным направлением решения проблемной ситуации представляется применение нескольких дублирующих систем. Но использование общепринятых аварийных систем выпуска шасси из-за усложнения конструкции и увеличения массы самолета становится крайне затруднительным.

Такое положение особенно критично в отношении летательных аппаратов военного назначения (истребительная, штурмовая, бомбардировочная авиация), где к требованиям по надежности, в связи со спецификой использования, дополняются требования по «живучести» воздушного судна. Основные и аварийные системы выпуска шасси могут отказать в результате получения боевого повреждения.

⁹ Житомирский Г. И. Конструкция самолетов: учебник для студентов вузов. 6-е изд., испр. М.: Инновационное машиностроение, 2021. 416 с.

¹⁰ Подружин Е. Г. Конструкция и проектирование летательных аппаратов. Шасси: учеб. пособие / Е. Г. Подружин, В. М. Степанов. 2-е изд. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. 68 с.

¹¹ Пенно А. Ф. Конструкция и летная эксплуатация воздушного судна. Самолет Як-130: Учебное пособие / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский, А. М. Клименко. Краснодар: КВВАУЛ, 2023. 284 с.

Логично предположить, что использование нескольких дублирующих систем также способно существенно повысить «живучесть» боевого самолета. Однако, учитывая, что одним из основных показателей летательного аппарата является его тяговооруженность, то увеличение массы воздушного судна, в результате размещения дополнительного оборудования, неминуемо приведет к уменьшению ее значения, что напрямую влияет на качество летных характеристик, и снижению полезной нагрузки.

Кроме того, такой подход требует дополнительного внутрифюзеляжного пространства для оборудования, что не всегда возможно, учитывая компоновку современной боевой техники (например, истребителя). К тому же большое количество агрегатов дополнительных систем только увеличивают риск их боевого поражения и возникновения аварийной ситуации.

Для решения обозначенной проблемы предложен способ аварийного выпуска шасси с применением порохового заряда, удовлетворяющий требованиям по надежности и «живучести» авиационной техники при минимально возможном увеличении веса воздушного судна и компактности оборудования.

Материалы и методы

Материалом исследования являются применяемые на современных летательных аппаратах боевой авиации основные и аварийные системы выпуска шасси, принцип их устройства и работы.

В процессе изучения материала прослеживаются некоторые **противоречия** между требованиями к надежности и «живучести» авиационной техники в виде необходимости применения дублирующей аварийной системы выпуска шасси и неприемлемым увеличением массы и габаритов самолета, что отрицательно сказывается на тактико-технических характеристиках воздушного судна.

Целью нашего исследования является обоснование возможности применения порохового заряда в системе аварийного выпуска шасси.

Для достижения поставленной цели в проводимом нами исследовании необходимо было решить некоторые **задачи**, а именно:

- провести анализ конструкции и принципа работы основной и аварийной систем выпуска шасси современных боевых летательных аппаратов;
- определить воздушное судно как объект для возможного внедрения предлагаемого авторами способа аварийного выпуска шасси;
- раскрыть принцип использования порохового заряда при аварийном выпуске шасси;
- обосновать изменение массы воздушного судна и возможные изменения конструкции самолета при размещении дублирующего оборудования;

– сформулировать итоги проведенного исследования, обосновать возможность применения порохового заряда в системе аварийного выпуска шасси.

Для решения поставленных задач использовались теоретический (анализ, обобщение, моделирование), а также математический методы исследования.

Практическая значимость заключается в возможности применения дублирующей системы аварийного выпуска шасси без существенных изменений массы и габаритов воздушного судна.

Дискуссия

Проведенный анализ конструкции и работы систем выпуска и уборки шасси современных летательных аппаратов военного назначения (Су-25, Су-27, МиГ-29, Як-130 и т. п.) позволил сделать вывод, что устройство данных систем выполнено по схожему принципу, как в штатном функционировании, так и в применении аварийных систем выпуска шасси. Это позволило остановить наш выбор на самолете Як-130, как объекте для обоснования возможности применения пороховых зарядов в системе аварийного выпуска шасси. На данном летательном аппарате применена схема, где выпуск шасси производится от общей гидравлической системы, а при ее отказе – от аварийной пневматической системы.

На рисунке 1 показана принципиальная схема системы уборки и выпуска шасси самолета Як-130.

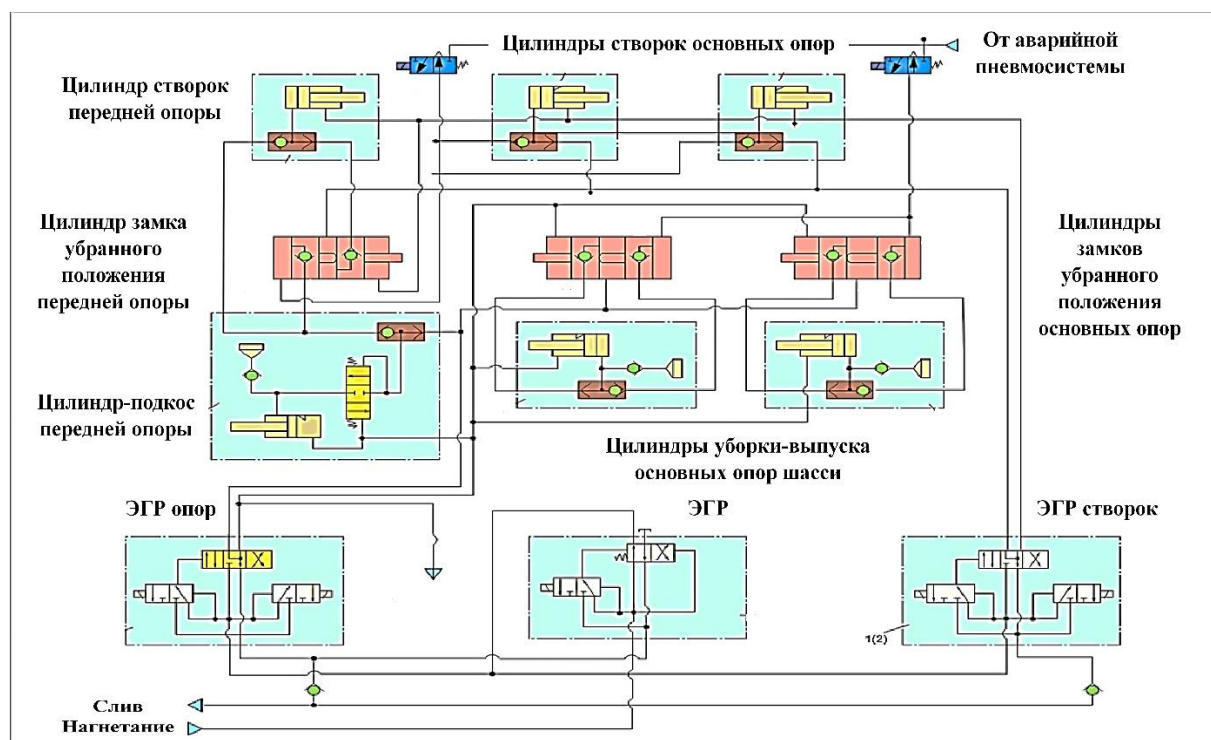


Рисунок 1 – Система уборки-выпуска шасси. Схема принципиальная гидropневматическая

Гидравлическая система основного выпуска и пневматическая система аварийного выпуска шасси данного воздушного судна включают большое количество агрегатов, таких как баки, баллоны, насосы, различные клапаны и трубопроводы. Повреждение одного из них способно привести к отказу выпуска шасси. Это предъявляет дополнительные требования к дублирующей аварийной системе выпуска в плане сокращения количества применяемых в конструкции компонентов.

Открытие створок и замков убранного положения шасси, а также выпуск самих шасси осуществляется гидроцилиндрами, которые используются как при основном, так и при аварийном выпуске. Принцип устройства и работы всех гидроцилиндров аналогичен, это позволило для проведения исследования остановиться на цилиндре уборки-выпуска основных опор шасси (ООШ).

Рассмотрим работу данного цилиндра при основном и аварийном выпуске шасси (рис. 2).

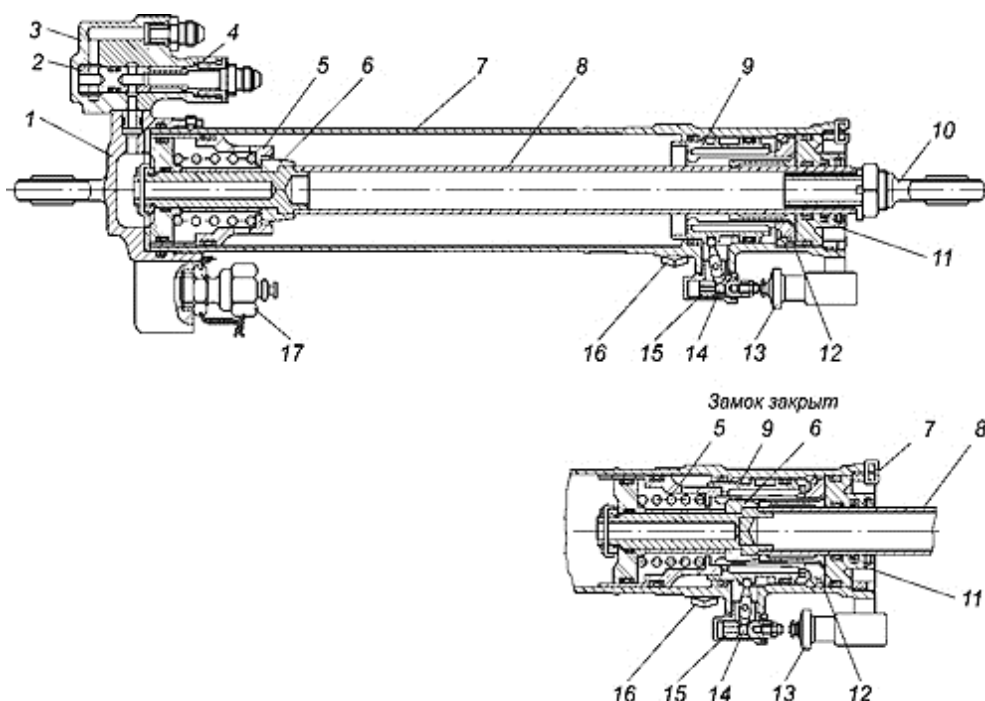


Рисунок 2 – Цилиндр уборки-выпуска основных опор шасси¹²:

1. Крышка; 2. Поршень с цангой; 3. Клапан аварийный; 4. Упор; 5. Поршень запирающий; 6. Втулка упорная; 7. Корпус; 8. Шток; 9. Поршень плавающий; 10. Болт ушковый; 11. Букса; 12. Цанга; 13. Выключатель концевой; 14. Рычаг; 15. Толкатель; 16. Штуцер уборки; 17. Переходник

На выпуск ООШ давление нагнетания подводится через аварийный клапан 3 (штуцер основного выпуска шасси) в полость выпуска штока. На уборку основных опор давление нагнетания поступает в полость уборки штока через штуцер уборки 16.

¹² Самолет Як-130. Руководство по технической эксплуатации. Шасси. М.: ОАО «Корпорация «Иркут», 2013. 700 с.

При постановке рукоятки ШАССИ на выпуск основных опор давление нагнетания поступает в полость выпуска штока. Под действием давления рабочей жидкости шток 8 вместе с элементами механического замка перемещаются на выпуск. Дойдя до цанги, упорная втулка 6 своей конической поверхностью разжимает лепестки цанги 12. По мере дальнейшего движения штока лепестки цанги встают за упорную втулку. Одновременно запирающий поршень 5 перемещает плавающий поршень 9 до упора в торец цанги и внутренней поверхностью находит на цангу. Замок заперт. Шток выпущен, основные опоры выпущены. Одновременно с закрытием замка плавающий поршень поворачивает рычаг 14 механизма сигнализации, который перемещает толкатель 15 от штока выключателя 13. Происходит переключение контактов, и выключатель выдает сигнал выпущенного положения основных опор.

При постановке рукоятки ШАССИ на уборку основных опор давление нагнетания поступает в полость уборки штока. Под действием давления рабочей жидкости запирающий поршень 5 отходит влево, освобождая лепестки цанги. Замок отпирается. При начавшемся движении штока упорная втулка 6, разжимая лепестки цанги, выходит из-под цанги. Шток убирается, основные опоры убираются. Одновременно с открытием механического замка под давлением рабочей жидкости плавающий поршень 9, перемещаясь влево, поворачивает рычаг 14 и перемещает толкатель 15 к штоку выключателя 13, переключая его контакты.

При аварийном выпуске основных опор давление азота подается в штуцер аварийного выпуска аварийного клапана 3. По каналу в корпусе аварийного клапана азот подается в полость поршня с цангой 2. Под действием давления азота поршень перемещается вправо, лепестки цанги сжимаются. В конце хода поршня 2 лепестки цанги под действием упругих сил разжимаются и встают за упор 4. Аварийный клапан 3 фиксируется в положении аварийного выпуска основных опор. Канал штуцера основного выпуска перекрывается, а полость выпуска штока цилиндра соединяется через отверстия в поршне с каналом аварийного выпуска.

Обратное переключение аварийного клапана происходит при подаче давления рабочей жидкости в штуцер основного выпуска. Под действием давления лепестки цанги выходят из-за упора 4, поршень 2 перемещается влево и соединяет через отверстия полость выпуска штока с каналом основного выпуска.

Изучив конструкцию и работу системы выпуска шасси летательного аппарата, а также учитывая требования по надежности и «живучести», предлагается рассмотреть вариант применения пороховых зарядов, где энергия газов, выделяющаяся при горении, аналогично давлению азота может быть использована для выпуска шасси как дублирующая аварийная система.

Примером успешного применения пороховых зарядов является конструкция катапультного кресла К-36Л-3,5Я самолета Як-130¹³. На данном кресле энергия газов используется для работы механизмов системы аварийного притяга летчика, системы стабилизации и пневмоприводов, системы ввода парашюта и отделения летчика от кресла. Надежность данной конструкции подтверждается тем фактом, что на кресле не предусмотрено дублирование указанных систем, участвующих в спасении летчика.

Предлагается доработать конструкцию цилиндра уборки-выпуска шасси пиропереключателем, благодаря которому к двум существующим вариантам работы добавляется возможность выдвижения штока за счет энергии пороховых газов (рис. 3в).

Для демонстрации авторской разработки на рисунке 3а показана схема работы цилиндра выпуска основной опоры от гидросистемы, 3б – от аварийной пневмосистемы, 3в – от дублирующей аварийной пиросистемы.

Пороховой газогенератор предлагается установить непосредственно на корпус цилиндра уборки-выпуска основных опор шасси и направлять пороховые газы по короткому трубопроводу на пиропереключатель 2 через штуцер 1 (рис. 3в). После воспламенения пирозаряда газы перемещают поршень пиропереключателем, который перекрывает каналы подвода гидравлической жидкости и азота и одновременно открывает канал для поступления газов в полость выпуска штока цилиндра.

¹³ Катапультное кресло К-36Л-3,5Я. Руководство по технической эксплуатации (в двух томах). Том 2 – Описание систем и агрегатов. М.: ОАО «Научно-производственное предприятие «Звезда»», 2009. С. 411.

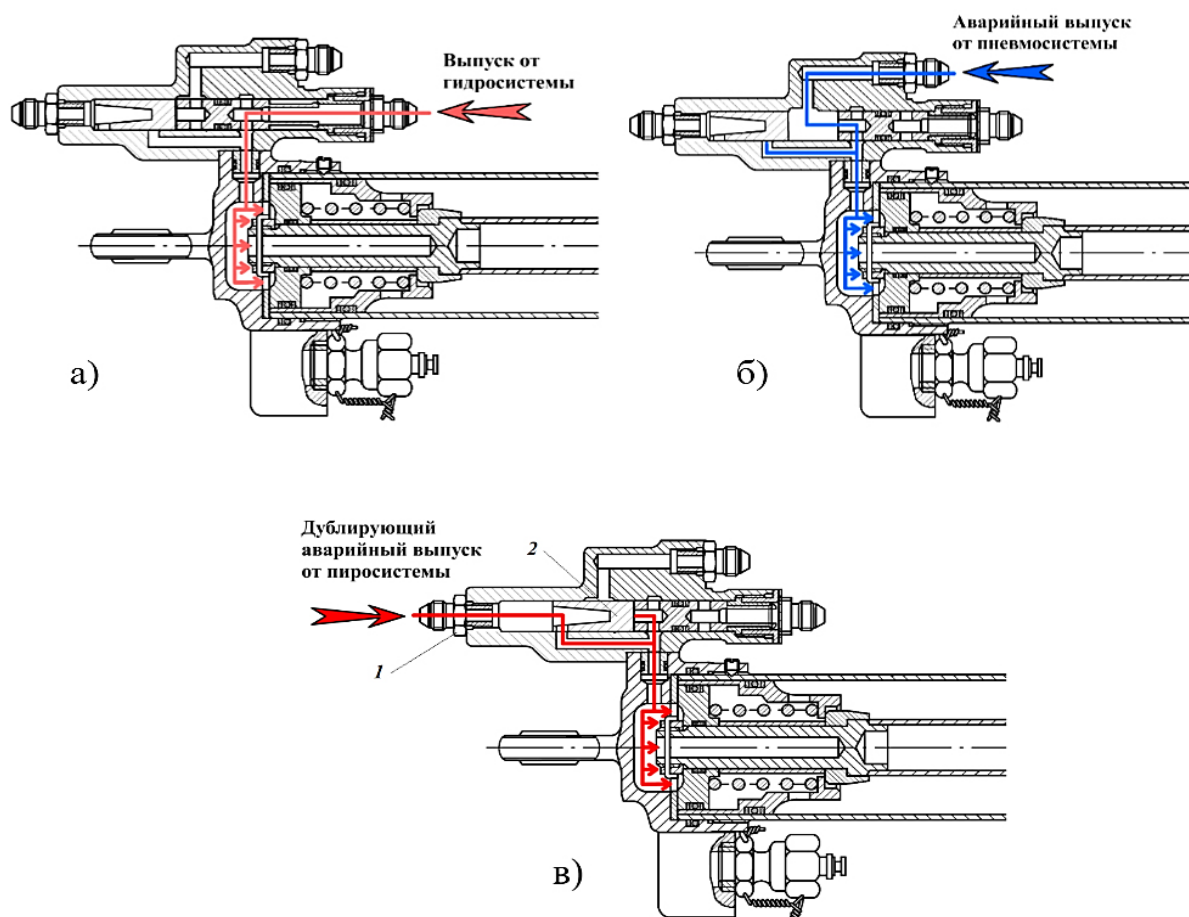


Рисунок 3 – Цилиндр уборки-выпуска основных опор шасси с пиропереключателем:

1. Штуцер подвода пороховых газов; 2. Пиропереключателем

Стоит обратить внимание, что предлагаемые конструктивные изменения цилиндра выпуска шасси минимальны, и его работа при их внедрении принципиально не изменилась.

В исследовании проведено моделирование динамики выпуска ООШ от двух существующих систем – гидравлической и пневматической, и предложенной пиромеханической системы.

Принятая расчетная схема (рис. 4) рассматривается при следующих допущениях:

- другие потребители общей гидросистемы в период выпуска шасси не потребляют гидравлическую энергию;
- внешние нагрузки не учитываем, поскольку при любом способе выпуска шасси они одинаковы.

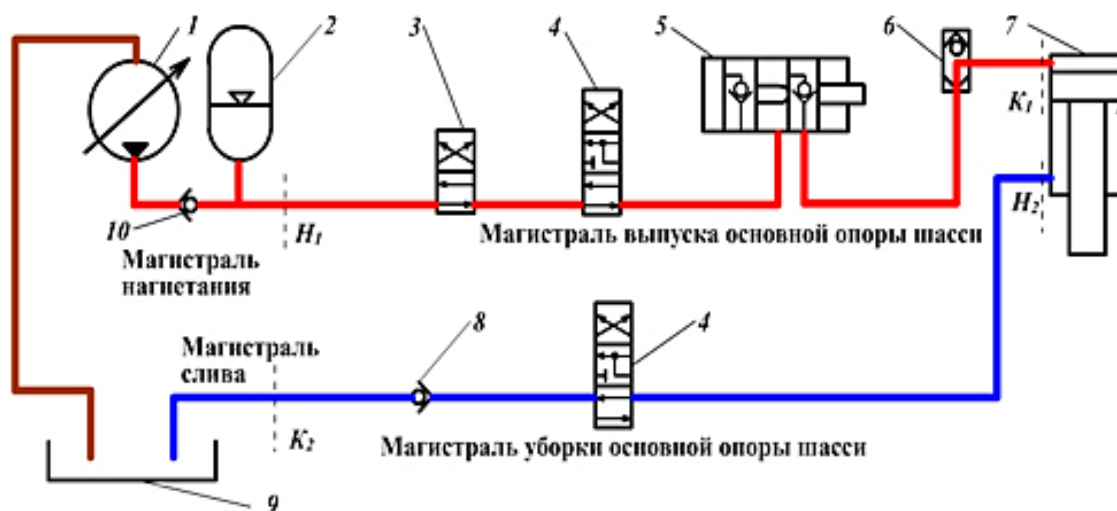


Рисунок 4 – Расчетная схема выпуска основной опоры шасси:

1. Гидронасос; 2. Гидроаккумулятор; 3. Двухпозиционный электрогидрораспределитель; 4. Трехпозиционный электрогидрораспределитель; 5. Цилиндр замка убранного положения шасси; 6. Цилиндр уборки и выпуска шасси; 8, 10. Обратный клапан; 7. Гидроцилиндр уборки-выпуска шасси; 9. Гидробак

Распределение гидравлической мощности на выпуск:

- передней опоры – 40% (опора выпускается против потока воздуха);
- каждой из основных опор – 30%;
- рабочая жидкость – масло АМГ-10 ГОСТ 6794-75;
- подача насоса НП-96 – $1,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- давление за насосом при нулевой подаче P_0 – 21 МПа;
- давление за насосом при максимальной подаче P_p – 18 МПа;
- давление в гидробаке $P_{сб}$ – 0,4 МПа.

Параметры гидроцилиндра:

- наружный диаметр корпуса $D_{нк}$ – 96,4 мм;
- диаметр поршня D – 88,6 мм;
- диаметр штока d – 38 мм;
- ход штока h – 261 мм;
- объем полости выпуска $V_{вып} = \frac{\pi D^2 h}{4} = 1,608 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- объем полости уборки $V_{вып} = \frac{\pi (D^2 - d^2) h}{4} = 1,312 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- диаметр каналов подвода жидкости d_T – 8 мм.

Параметры гидравлической трубопроводной сети:

- суммарная длина магистрали выпуска – 2,6 м;
- суммарная длина магистрали уборки – 2,6 м;
- диаметр живого сечения – 8 мм;

- абсолютная шероховатость поверхности трубопровода $\Delta_3 - 0,05$ мм;
- сумма коэффициентов местных гидравлических сопротивлений в магистрали выпуска основной опоры $1,32 \cdot 12 + 2 \cdot 1 + 0,5 + 0,4 = 18,74$;
- сумма местных коэффициентов гидравлических сопротивлений в магистрали уборки основной опоры $1,32 \cdot 6 + 0,5 + 0,4 = 8,82$;
- время выпуска шасси – 4 с.

Исходя из объема полости выпуска цилиндра ООШ и времени выпуска опоры определена подача жидкости в магистрали нагнетания $Q_n = \frac{\pi D^2 h}{4t} = 4,021 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$, что составляет 32,168 % от подачи насоса, как было принято в допущениях.

Потери энергии как в магистрали выпуска ООШ¹⁴, так и в магистрали уборки h_{n-k} представляют собой сумму потерь энергии на трение по длине h_{dl} и местных гидравлических сопротивлений h_m :

$$h_{n-k} = h_{dl} + \sum h_m = \lambda \cdot \frac{\ell}{d_T} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\ell}{d_T} + \sum \xi \right), \quad (1)$$

где ℓ – длина трубопровода;

v – средняя скорость в сечении потока;

d_T – диаметр трубопровода;

ξ – коэффициенты местных сопротивлений, определяются по справочным данным;

λ – коэффициент гидравлического трения. Этот коэффициент зависит от режима движения жидкости (числа Рейнольдса Re) и состояния поверхности трубопровода.

Результат решения уравнения 1 для выпуска ООШ от гидросистемы представлен на рисунке 5.

¹⁴ Раинкина Л. Н. Гидромеханика: Учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2001. 113 с.

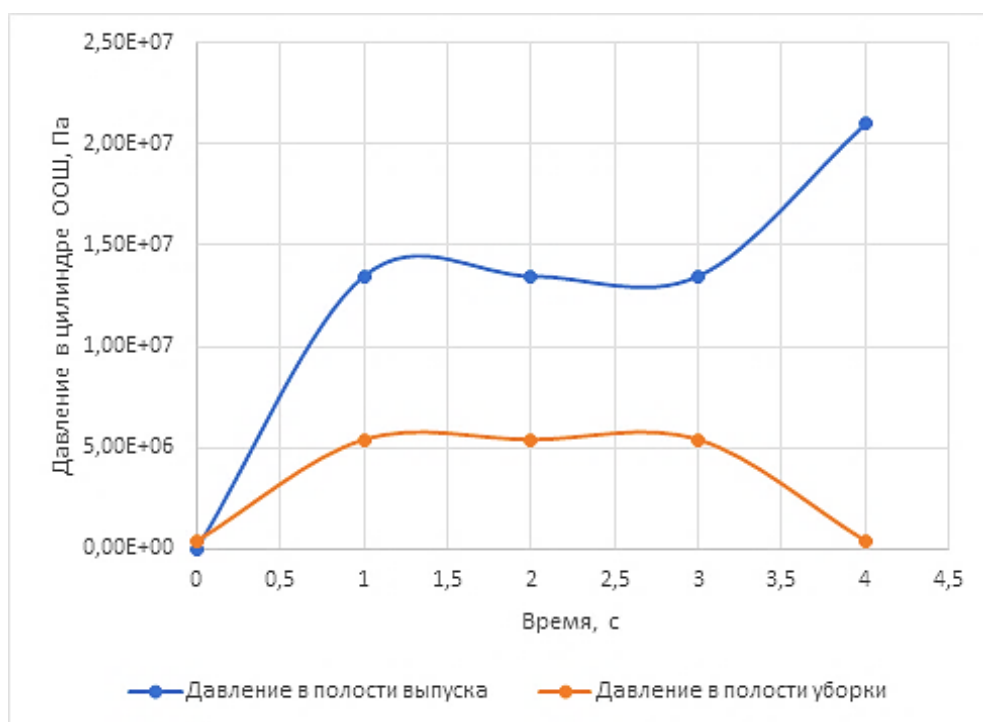


Рисунок 5 – Динамика изменения давлений в полостях цилиндра ООШ при выпуске опоры от гидросистемы

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о том, что усилие гидроцилиндра плавно нарастает до страгивания опоры. Затем остается примерно постоянным и при фиксации опоры замком выпущенного положения возрастает до максимального для надежного удержания опоры в выпущенном положении.

Исходными данными для моделирования аварийного выпуска ООШ от пневмосистемы приняты:

- объем двух баллонов в аварийной пневмосистеме – $6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- давление азота в баллонах – 21 МПа;
- объем полостей выпуска всех трех гидроцилиндров – $1,608 \cdot 2 + 1,312 = 4,526 \text{ л}$ или $4,526 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- время аварийного выпуска принимаем таким же, как и основного;
- объемом трубопроводов пренебрегаем.

На рисунке 6 показана динамика изменения давлений в полостях цилиндра ООШ при аварийном выпуске опоры от пневмосистемы.

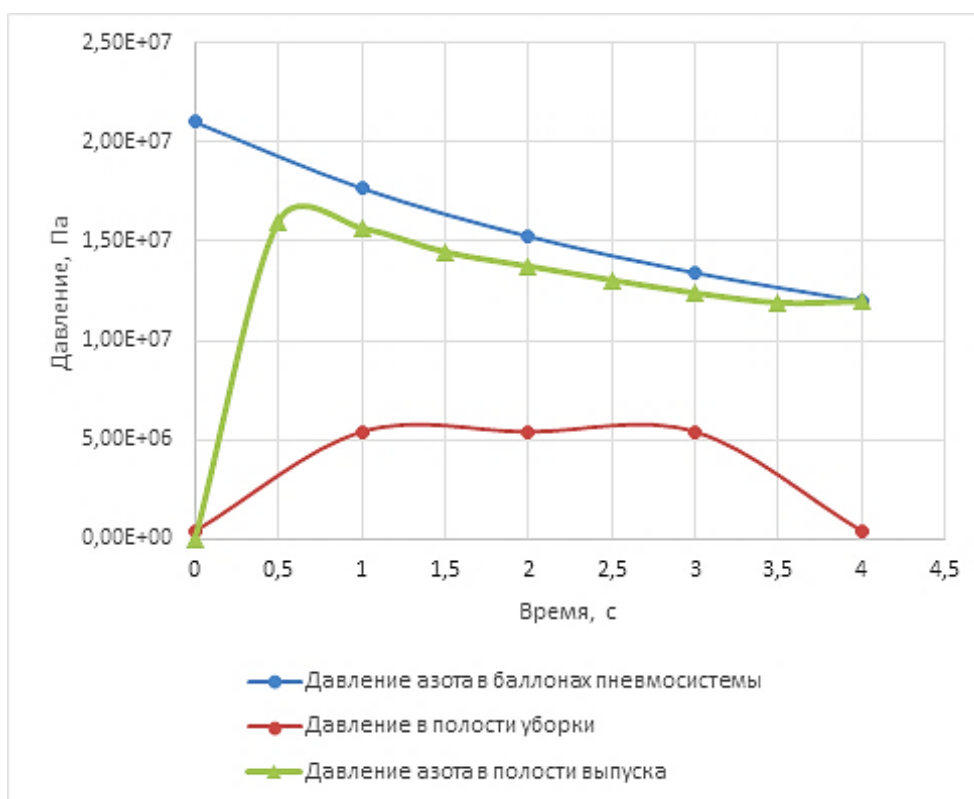


Рисунок 6 – Динамика изменения давлений в полостях цилиндра ООШ при аварийном выпуске опоры от пневмосистемы

Из анализа результатов моделирования видно, что усилие гидроцилиндра резко нарастает в начале страгивания опоры, затем постепенно снижается и при фиксации опоры замком выпущенного положения остается на уровне 55 – 60% от начального давления. Удержание опоры в выпущенном положении обеспечивается только механическим (цанговым) замком без участия гидрозамка.

В предлагаемой пиромеханической системе дублирующего аварийного выпуска шасси, путем подбора пирозаряда газогенератора, можно обеспечить любой желаемый закон изменения давления газа в полости выпуска гидроцилиндра ООШ.

Вопросы по методике подбора пороховых зарядов заслуживают отдельного изучения и не рассматриваются в данном исследовании.

Один из возможных вариантов изменения давления пороховых газов дублирующего аварийного выпуска шасси от пиросистемы и динамики изменения давлений в полостях цилиндра ООШ показан на рисунке 7.

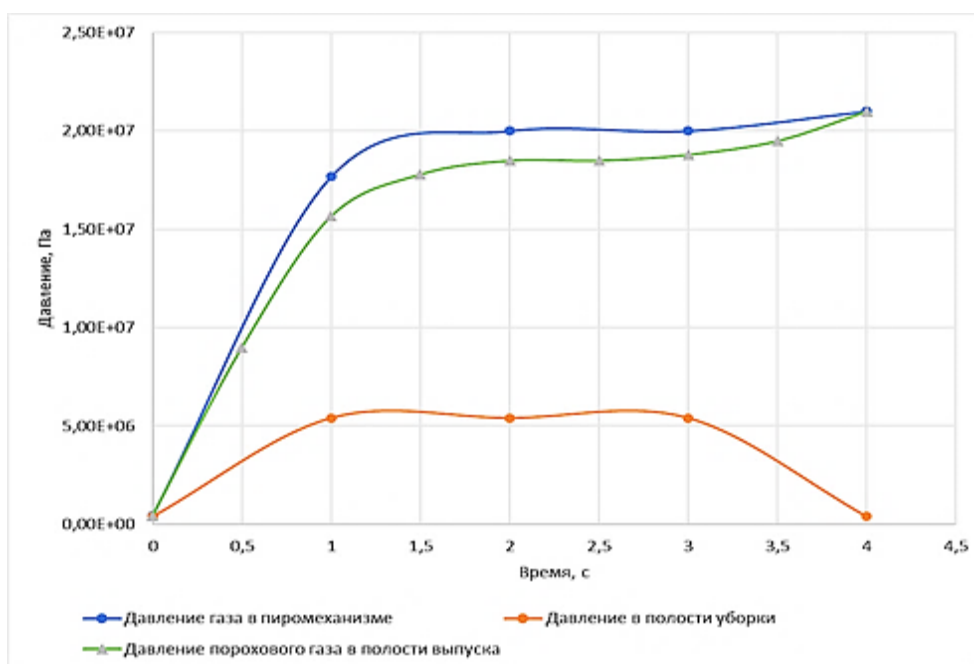


Рисунок 7 – Динамика изменения давлений в полостях цилиндра ООШ при аварийном выпуске опоры от пиросистемы

Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о том, что усилие гидроцилиндра плавно нарастает в начале страгивания опоры, развивая при этом усилие на штоке гидроцилиндра на 20 – 25% больше по сравнению с выпуском от гидравлической системы и 40 – 45% выше по сравнению с аварийным выпуском от пневмосистемы. Заметим, что давление газа в газогенераторе и в полости выпуска гидроцилиндра ООШ не превышает рабочее давление в гидросистеме, поэтому нагрузки на стенки гидроцилиндра по сравнению с выпуском от гидросистемы не изменяются, усиление корпуса и штока гидроцилиндра не требуется.

В конце выпуска ООШ давление газа в пиромеханизме достигает величины, равной рабочему давлению в гидросистеме, что повышает надежность закрытия механического замка в гидроцилиндре и фиксации опоры в выпущенном положении.

Таким же образом предложенные конструктивные изменения могут быть применены и на других цилиндрах системы выпуска шасси самолета Як-130, так как их принципиальное устройство аналогично.

Для функционирования представленной модели необходимо обеспечение системы аварийного выпуска шасси дополнительным электрооборудованием, органами управления в кабине самолета, а также должны быть внесены изменения в программу, отвечающую за алгоритм ее работы.

Основной упор в исследовании сделан на исполнительные механизмы, а задача комплектации сопутствующим оборудованием рассматривается в общем контексте. Однако для окончательных выводов по итогам работы необходимо произвести анализ возможного увеличения массы самолета.

Для примера рассмотрим показатели веса основных компонентов, добавленных в конструкцию предложенной системы, взяв за основу схожие по назначению агрегаты:

- пиромеханизм с пиропатроном ПК-21М-2 (9 шт.) – общий вес не более 10 кг;
- авиационный кабель БПВЛ сечением жилы 0,5 мм² – вес 8,9 кг за 1 км длины;
- арматура в кабине представляется в виде переключателя или кнопки выпуска шасси и существенных весовых значений не имеет;
- в системе управления не предполагается использование дополнительных агрегатов, таких как блоки управления, концевые выключатели сигнализации положения узлов шасси и т. д. С изменением программного обеспечения данные изделия будут работать и в предлагаемой к внедрению системе по аналогичному алгоритму.

Анализируя полученный результат, можно предположить, что использование пороховых зарядов, дополнительной электрической проводки и установки арматуры в кабине не способно значительно увеличить массу воздушного судна, а значит повлиять на летные характеристики самолета.

К тому же, электрическая проводка, в отличие от трубопроводов, имеет эластичную структуру, и ее прокладка не требует существенных изменений в конструкции летательного аппарата. Данное обстоятельство и незначительный вес дают возможность применения дублирования каналов коммуникации. Такой подход значительно повышает надежность и «живучесть» воздушного судна в вопросе его безопасной посадки.

Результаты

Основными результатами исследования предложенной системы аварийного выпуска шасси с использованием пороховых зарядов являются:

- источник энергии в виде порохового заряда может быть расположен непосредственно на цилиндрах, входящих в систему выпуска шасси без значительных конструктивных изменений самих цилиндров;
- на примере разработанной авторской модели цилиндра выпуска шасси наглядно продемонстрирован принцип работы дублирующей аварийной системы, не влияющий на функционирование уже существующих систем;
- необходимый набор оборудования для внедрения предложенного способа аварийного выпуска шасси не ведет к существенному увеличению веса самолета и не требует заметных изменений в конструкции летательного аппарата;
- предлагаемая модель выпуска шасси предполагает использование уже установленных на воздушном судне агрегатов;
- незначительный вес электрической проводки дает возможность дублирования каналов коммуникации;

– учитывая электро-дистанционный принцип управления различными системами современных летательных аппаратов, алгоритм работы выпуска шасси может быть скорректирован путем внесения изменений в программу управления.

В качестве недостатка можно отметить необходимость замены пирозарядов после использования системы аварийного выпуска шасси по назначению.

Заключение

На основании полученных результатов по исследованию можно сделать заключение, что применение пороховых зарядов в системе аварийного выпуска шасси способно улучшить показатели по повышению надежности и «живучести» авиационной техники. Ее конструктивные особенности позволяют использовать данную систему как дублирующую при отказах основной и аварийной систем выпуска шасси.

Кроме того, следует отметить, что работа дублирующей аварийной системы обеспечивается значительно меньшим количеством агрегатов, а размещение источников энергии непосредственно на исполнительных механизмах системы позволяет исключить применение трубопроводов и заменить их электрической проводкой с функцией дублирования. Это в свою очередь уменьшает возможность отказа при боевом поражении воздушного судна, не приводит к заметному увеличению массы самолета и изменениям его конструкции.

Дополнительные материальные затраты по оборудованию летательного аппарата аварийной системой, замене пороховых зарядов после их применения не сопоставимы с возможными последствиями при полном отказе выпуска шасси, ведущими к поломке воздушного судна или его потере.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенная модель с использованием пороховых газов для обеспечения работы цилиндров может быть рекомендована как один из вариантов дублирующей аварийной системы выпуска шасси.

Библиографический список

- Ань Ц.* Анализ надежности системы уборки-выпуска шасси самолёта / Ц. Ань, А. В. Бобков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 1. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 192-193. EDN FAAVOL.
- Бекишев С. А.* Совершенствование работы системы контроля агрегатов уборки-выпуска шасси самолета при посадке // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Иркутск, 14-16 октября 2019 года. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2019. С. 14-20. EDN YNPYB.

- Гидравлическая система самолёта // [Электронный ресурс] 2015. URL: <https://avia.pro/blog/gidravlicheskaya-sistema-samoleta> (дата обращения: 19.06.2024).
- Житомирский Г. И. Конструкция самолетов. М.: Машиностроение, 2005. 406 с.
- Как устроена система шасси и тормозов пассажирского самолета // [Электронный ресурс] 2021. URL: https://habr.com/ru/companies/etmc_exponenta/articles/564046/ (дата обращения: 11.02.2024).
- Киселев Ю. В. Шасси самолета Superjet / Ю. В. Киселев, Д. Ю. Киселев // [Электронный ресурс] – 2014. URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-posobiya/Shassi-samoleta-Superjet-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-po-napravleniu-podgot-bakalavrov-162300-Tehn-ekspluatatsiya-letat-apparatov-i-aviac-dvigateli-54502/1/Киселев%20Ю.В.%20Шасси%20самолета.pdf> (дата обращения: 04.02.2024).
- Кондратьева М. А. Конструктивное совершенствование системы аварийного выпуска шасси самолета на основе использования энергии пороховых газов / М. А. Кондратьева, С. Н. Кузнецов // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : Сборник трудов XI Международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия конструкторского бюро "Туполев", 55-летия Иркутского филиала МГТУ ГА, 75-летия Иркутского авиационного технического колледжа, Иркутск, 13–14 октября 2022 года. Том 1. Иркутск: Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации", 2022. С. 68-73. EDN NTQYYV.
- Кузьмин Ю. В. История создания убирающегося шасси // ВКС. 2021. № 4 (109) // [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-sozdaniya-ubirayuschegosya-shassi> (дата обращения: 04.02.2024).
- Патент № 2780009 С1 Российская Федерация, МПК В64С 25/22, В64С 25/30. аварийный привод выпуска шасси: № 2022101851: заявл. 27.01.2022: опубл. 19.09.2022 / Р. Р. Калимуллин, Н. А. Поляков, Г. К. Фролов, В. А. Целищев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет». EDN WKWJEX.
- Пенно А. Ф. Некоторые предложения по повышению надежности гидравлической системы воздушного судна / А. Ф. Пенно, Ю. П. Беловодский // Межвузовский сборник научных трудов: Сборник статей. Том Выпуск 26. Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2022. С. 65-71. EDN BNPBUS.
- Пенно А. Ф. Повышение надежности гидравлической системы учебно-боевого самолета Як-130 // Межвузовский сборник научных трудов. Министерство обороны Российской Федерации; министерство образования и науки Российской Федерации Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков. Краснодар: КВВАУЛ, 2021. № 25. С. 19-23. EDN OFZZRY.
- Фролов Г. К. Современные схемные решения аварийных приводов выпуска уборки шасси / Г. К. Фролов, В. К. Годовец // Молодежный вестник УГАТУ. 2023. № 2(28). С. 132-138. EDN KNYFQH
- Шасси летательного аппарата // [Электронный ресурс] – 2022. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Шасси_летательного_аппарата# (дата обращения: 04.02.2024).
- Currey N. S. Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practice. Washington: AIAA Education Series, 1988. 373 p.
- Zhang W. G. Analysis of Aircraft Hydraulic System Failures / W. G. Zhang, G. Lin // Engineering Advanced Materials Research. 2014. № 989-994. pp. 2947-2950. DOI: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.989-994.2947.

References

- Aircraft chassis (2022). Available at: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/Aircraft chassis#](https://ru.ruwiki.ru/wiki/Aircraft_chassis#) (accessed 2 April 2024). (in Russian).
- Aircraft hydraulic system // [Electronic resource] 2015. URL: <https://avia.pro/blog/gidravlicheskaya-sistema-samoleta> (access date: 06/19/2024). (in Russian).
- An Ts., Bobkov A. V. (2021). Analysis of the reliability of the aircraft landing gear retraction and release system. Collection: Youth and science: current problems of fundamental and applied research: Materials of the IV All-Russian National Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists. In 4 parts, Komsomolsk-on-Amur, April 12–16, 2021. Komsomolsk-on-Amur: KNAGU. 1: 192-193. (in Russian).
- Bekishev S. A. (2019). Improving the operation of the control system for retracting and extending the landing gear of an aircraft during landing. Current problems and prospects for the development of civil aviation. Collection of proceedings of the VIII All-Russian scientific and practical conference with international participation. Irkutsk branch of MSTU GA. Irkutsk: 14-20. (in Russian).
- Currey N. S. (1988). Aircraft Landing Gear Design: Principles and Practice. Washington: AIAA Education Series. 373 p.
- Frolov G. K., Godovets V. K. (2023). Modern circuit solutions for emergency landing gear retraction drives. *Youth Bulletin of UGATU*. 28(2): 132-138. (in Russian).
- Kuzmin Yu. V. (2021). History of the creation of a retractable landing gear. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-sozdaniya-ubirayuschegosya-shassi> (accessed 2 April 2024). (in Russian).
- How the landing gear and brake system of a passenger aircraft works* (2021). Available at: https://habr.com/ru/companies/etmc_exponenta/articles/564046/ (accessed 2 April 2024). (in Russian).
- Kondratyeva M. A., Kuznetsov S. N. (2022). Constructive improvement of the aircraft landing gear emergency release system based on the use of powder gas energy. Current problems and prospects for the development of civil aviation. Collection of proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. dedicated to the celebration of the 100th anniversary of the Tupolev design bureau, the 55th anniversary of the Irkutsk branch of MSTU GA, the 75th anniversary of the Irkutsk Aviation Technical College. Irkutsk: 68-73. (in Russian).
- Patent No. 2780009 C1 Russian Federation, IPC B64C 25/22, B64C 25/30. emergency landing gear extension drive: No. 2022101851: app. 01/27/2022: publ. 09.19.2022 / R. R. Kalimullin, N. A. Polyakov, G. K. Frolov, V. A. Tselishchev; applicant: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Aviation Technical University". EDN WKWJEX. (in Russian).
- Penno A. F. (2021). Increasing the reliability of the hydraulic system of a combat training aircraft Yak-130. *Interuniversity collection of scientific papers. Ministry of Defense of the Russian Federation; Ministry of Education and Science of the Russian Federation Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots*. 25: 19-23. (in Russian).
- Penno A. F., Belovodsky Yu. P. (2022). Some proposals for increasing the reliability of the hydraulic system of an aircraft. *Interuniversity collection of scientific papers. Digest of articles*. 26: 65-71. (in Russian).
- Superjet aircraft landing gear* (2014). Available at: <https://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-posobiya/Shassi-samoleta-Superjet-Elektronnyi-resurs-elektron-ucheb-posobie-po-napravleniu-podgot-bakalavrov-162300-Tehn-ekspluatatsiya-letat-apparatov-i-aviac-dvigateli-54502/1/Kisilev%20YU.V.%20Chassis%20aircraft.pdf> (accessed 2 April 2024). (in Russian).
- Zhang W. G., Lin. G. (2014). Analysis of Aircraft Hydraulic System Failures. *Engineering Advanced Materials Research*. 989-994. 2947-2950. DOI: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.989-994.2947.
- Zhitomirsky G. I. (2005). Aircraft design. Moscow: *Mashinostroenie*, 406 p. (in Russian).