

©Воробьев Ю.А., Воронько В.В., Воронько И.А., Матцнер К.

ПОДХОД К СОЗДАНИЮ РУЧНЫХ ПНЕВМОИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СТАПЕЛЬНОЙ СБОРКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

1. Введение

Одним из ключевых требований, предъявляемых к новейшим самолетам, является повышение эффективности и срока их эксплуатации. Так, для пассажирских и транспортных самолетов величина проектного ресурса за последние десятилетия выросла с 15-20 тысяч летных часов (самолеты Ан-22, Ту-134, Ил-86, Ил-96) до 50-70 тысяч летных часов (самолеты RRJ-95, Ан-140, Ан-148 и др.). В общем случае эффективность использования летательного аппарата (ЛА) предопределяет его многоцелевой характер. Этот рост эффективности в решающей степени обеспечивается повышением долговечности планера ЛА, которую в свою очередь определяет в основном выносливость болтовых и заклепочных соединений. Количество таких соединений в планерах самолетов с увеличением их габаритных размеров резко увеличивается. Так, например, если в планере самолета Ту-204 устанавливают свыше 46.960 болтов (в крыле – 38.550 шт., фюзеляже – 7.590 шт., на пилонах двигателей – более 820 шт.), то на пассажирском лайнере Ил-86 общее количество болтов достигает уже 152.800 шт.

Использование методов поверхностного пластического деформирования (ППД) является эффективным способом увеличения циклической долговечности свободных незаполненных отверстий (например, отверстий для перетекания топлива в баке-кессоне) и отверстий под крепежные элементы. Однако методы ППД не используются в производстве в полной мере, что объясняется, прежде всего, высокой стоимостью, низкой производительностью

и ограниченными технологическими возможностями, как процесса, так и устройств для их осуществления.

В Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» на кафедре технологии производства летательных аппаратов с 80-х годов прошлого столетия ведутся исследования и разработки схем и конструкций ручных пневмоимпульсных устройств для стапельной сборки ЛА. За эти годы сотрудниками кафедры Кушнаренко С.Г., Лепетюхой В.С., Кривцовым В.С., Чистяком В.Г., Воробьевым Ю.А., Воронько В.В. и др. разработаны и изготовлены десятки различных схем и конструкций пневмоимпульсных устройств для клепки, постановки болтов и болт-заклепок, прошивки, пробивки и дорнования отверстий.

Преимущества сборки ЛА в стапеле с использованием ручных пневмоимпульсных устройств (РПИУ) были обоснованы во многих работах [1-6 и др.].

К сожалению, из-за распада СССР данные технологии не были в полном объеме внедрены в серийное производство ЛА. Однако в последние годы из-за большого интереса таких фирм как Boeing, Airbus, Volkswagen и др., эти работы в ХАИ были возобновлены. Подтверждением данного факта являются выполненные и выполняемые проекты и гранды.

2. Формулирование проблемы

Для создания методологии разработки ручных пневмоимпульсных устройств, используемых в условиях стапельной сборки ЛА, необходимо выполнить следующие работы:

– синтезировать технологическую систему сборки с использованием импульсного устройства (для определения граничных условий для создания пневмоимпульсных устройств);

– проанализировать существующие схемы и конструкции пневмоимпульсных устройств (для определения возможности их использования или необходимости совершенствования);

– разработать обобщенную численную модель технологической системы (ТС) (для определения ее рациональных параметров);

– создать функционально-элементную блок-схему РПИУ (для их унификации).

3. Технологическая система сборки ЛА с использованием пневмоимпульсного ручного инструмента

ТС сборки ЛА с использованием РПИУ подразделяется на три этапа (рис. 1):

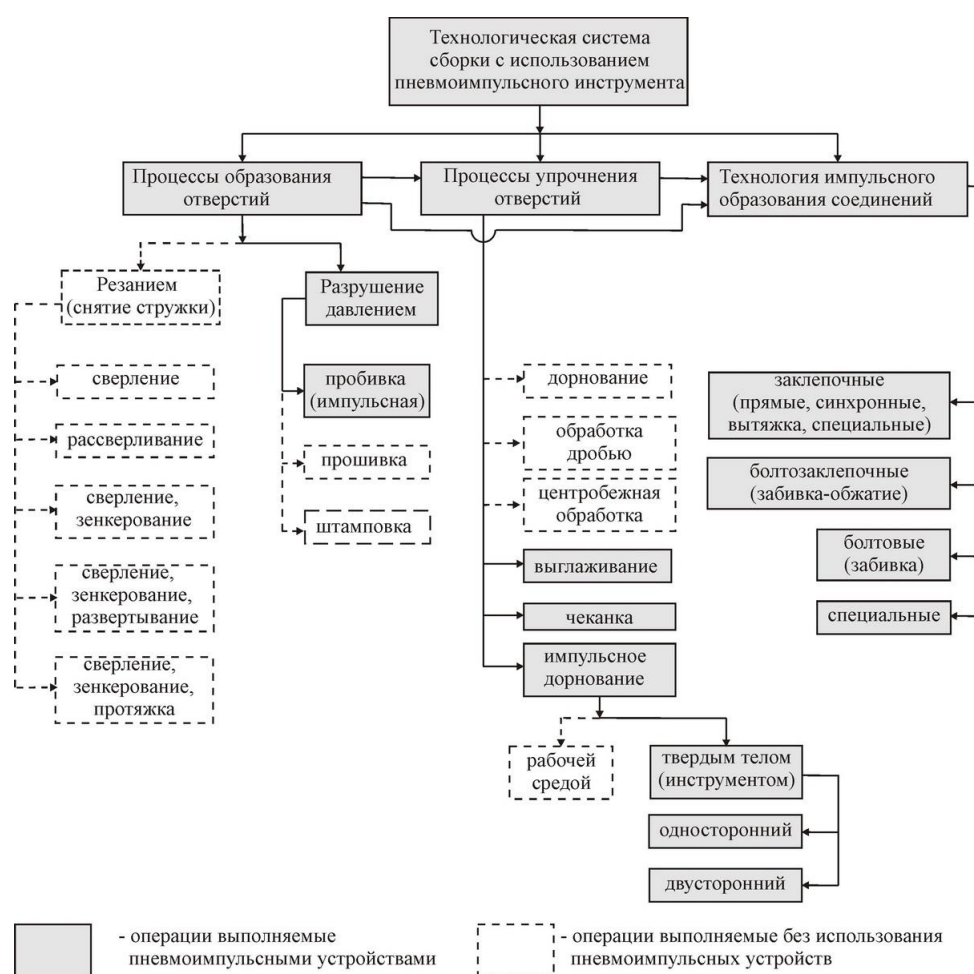


Рис. 1 – Технологическая система сборки ЛА с использованием пневмоимпульсного инструмента

1) образование отверстий, выполняемое:

- обработкой резанием (сверление, рассверливание, развертывание, зенкерование, протяжка);

- разрушением давлением (пробивка импульсная, прошивка, штамповка);

2) упрочнение отверстий: дорнование, обработка дробью, центробежная обработка, выглаживание чеканка, импульсное дорнование (рабочей средой, твердым телом);

3) образование соединений: заклепочных, болтозаклепочных, болтовых, специальных.

Выбор элементов технологической системы зависит от следующих факторов: ресурс изделия, качество соединения (в том числе аэродинамическое), экономичность, условия сборки (подходы к соединению), производительность, улучшения условий труда и др.

В результате анализа ТС сборки ЛА с использованием РПИУ была создана обобщенная схема импульсных технологий для осуществления сборочно-монтажных работ в авиастроении, которая состоит из (рис. 2):

1) рабочей части инструмента:

- обжимка (клепка стержневых заклепок, забивка болта);
- обжимка-поддержка (синхронная клепка стержней);
- поддержка (обжатие кольца);
- дорн (прямое и реверсное дорнование);

2) подкрепляющего элемента:

- поддержка (клепка стержневых заклепок, забивка болта, обжатие кольца);
- обжимка-поддержка (синхронная клепка);
- подкрепляющий элемент конструкции (прямое дорнование);
- упорная втулка устройства (реверсное дорнование);

3) упорной втулки устройства:

- полиуретановый прижим (клепка стержневых заклепок, синхронная клепка, забивка болта);
- упорная втулка устройства (обжатие кольца, прямое дорнование);
- упорная втулка-поддержкой (реверсное дорнование);

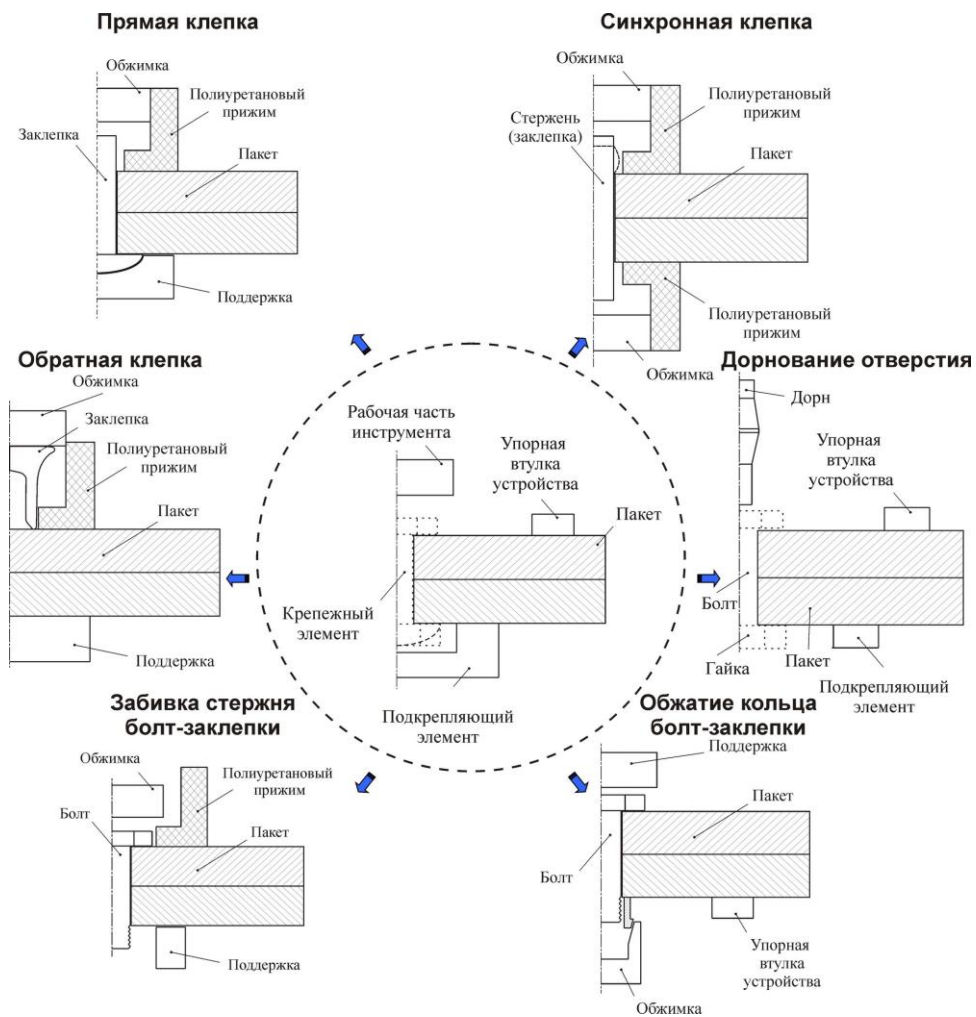


Рис. 2 – Обобщенная схема импульсных технологий (основные процессы

4) крепежного элемента:

- заклепка (клепка стержневых заклепок);
- стержень (синхронная клепка);
- болт (забивка болта);
- кольцо (обжатие кольца);

5) пакета.

Обобщенная схема импульсных технологий позволяет разработать единый подход к численному моделированию импульсных процессов.

4. Численное моделирование технологической системы

Экспериментальные методы выбора рациональных технологических параметров импульсных процессов сборки авиационных конструкций требует

значительных материальных и временных затрат. Современный уровень развития программного обеспечения и вычислительной техники обеспечивает возможность численного моделирования этих процессов методом конечных элементов (МКЭ).

На основе обобщенной схемы процесса импульсных технологий созданы конечно-элементные модели (КЭМ) для расчетов в программных пакетах Ls-Dyna и Abaqus.

При численном моделировании процессов ТС выполняются следующие работы:

1) геометрическое моделирование ТС, состоящей из пакета, крепежного элемента, рабочей части инструмента, подкрепляющего элемента и упорной втулки (рис. 2);

2) моделирование физических свойств материалов дорна, пакета, подкрепляющего элемента и упорной втулки;

3) задание контактных условий взаимодействия элементов ТС;

4) задание начальных условий состояния элементов ТС.

При этом принимаются следующие допущения:

1) материалы элементов ТС задаются стандартными функциями;

2) задачи решаются в осесимметричной постановке;

3) трение на контактной поверхности описывается законом Амонта-Кулона;

4) тепловые эффекты, вызванные пластическим деформированием, не учитываются.

Наиболее оптимальными стандартными функциями для описания свойств материалов элементов ТС являются [7–15]:

– пакет: "MAT_POWER_LAW_PLASTICITY" (E , μ ; B , m – коэффициенты степенного закона $\sigma = B\varepsilon^m$);

– крепежный элемент и рабочая часть инструмента (обжимка, дорн):

1) "MAT_POWER_LAW_PLASTICITY" μ ; B , m – коэффициенты

степенного закона $\sigma = B\varepsilon^m$) – для деформируемых крепежных элементов и рабочей части инструмента;

2) "MAT_RIGID" (E , μ) – для недеформируемых крепежных элементов и рабочей части инструмента;

– рабочая часть инструмента (обжимка, дорн) и подкрепляющий элемент (поддержка): "MAT_RIGID" (E , μ);

– упорная втулка устройства (полиуретановый прижим): "MAT_HYPERELASTIC_-RUBBER" (μ , константы материала $C01$ (Па) и $C10$ (Па)).

Использование вышеперечисленных стандартных функций при численном моделировании ТС дает до 15 % погрешности по сравнению с натурным экспериментом [7–15].

При решении импульсных процессов пластического деформирования используется явный метод интегрирования дифференциальных уравнений.

На основании результатов численного моделирования (рис. 3) импульсных процессов (геометрические параметры и напряженно-деформированное состояние (НДС) элементов системы) определяются рациональные технологические параметры, которые учитываются при разработке конструкции пневмоимпульсных устройств.

5. Анализ существующих схем и конструкций пневмоимпульсных устройств

Для реализации факторов влияющих на ТС сборки был проведен анализ существующих схем и конструкций пневмоимпульсных устройств [1–6], который позволил классифицировать устройства на следующие виды:

1) устройства прямого действия (рис. 4), применяемые для клепки, забивки болта, обжатия шайбы, пробивки, прямого дорнования, выглаживания, чеканки;

2) устройства прямого и обратного действия (рис. 5), применяемые для

прямого и реверсного дорнования и выглаживания;

3) устройства синхронного действия (рис. 6), применяемые для синхронной клепки.

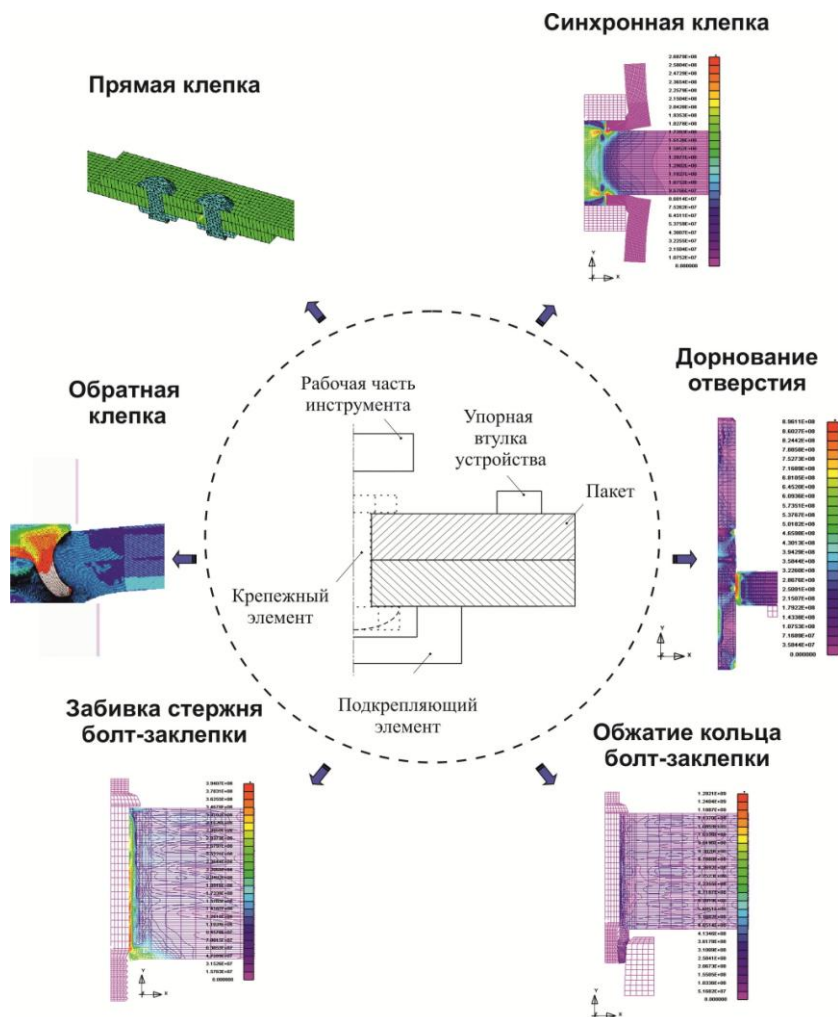


Рис. 3 – Результаты численного моделирования обобщенной схемы импульсных технологических процессов в программных пакетах Ls-Dyna и Abaqus

6. Функционально-элементная блок-схема ручного пневмоимпульсного инструмента

Разработана функционально-элементная блок-схема РПИУ (рис. 7), которая позволяет учитывать все факторы, определяющие ТС сборки ЛА в стапеле.

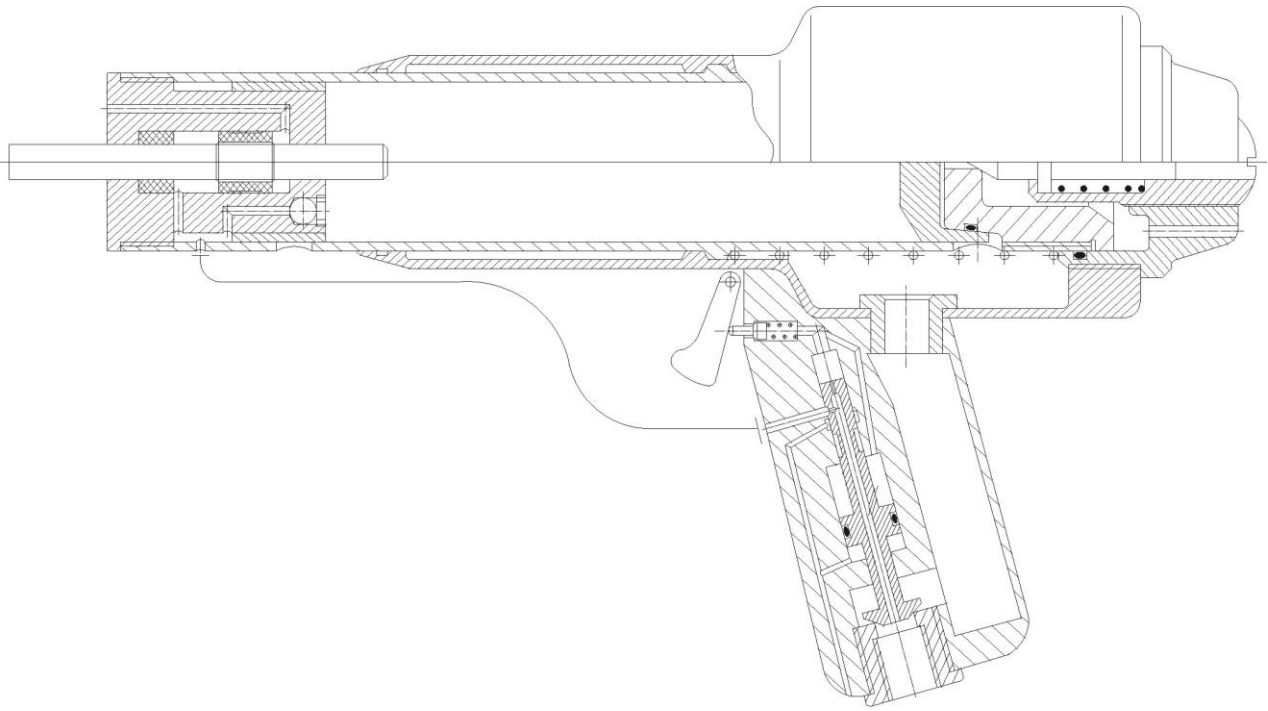


Рис. 4 – Пневмомпульсное устройство прямого действия (клепальный молоток мод. МПО-4)

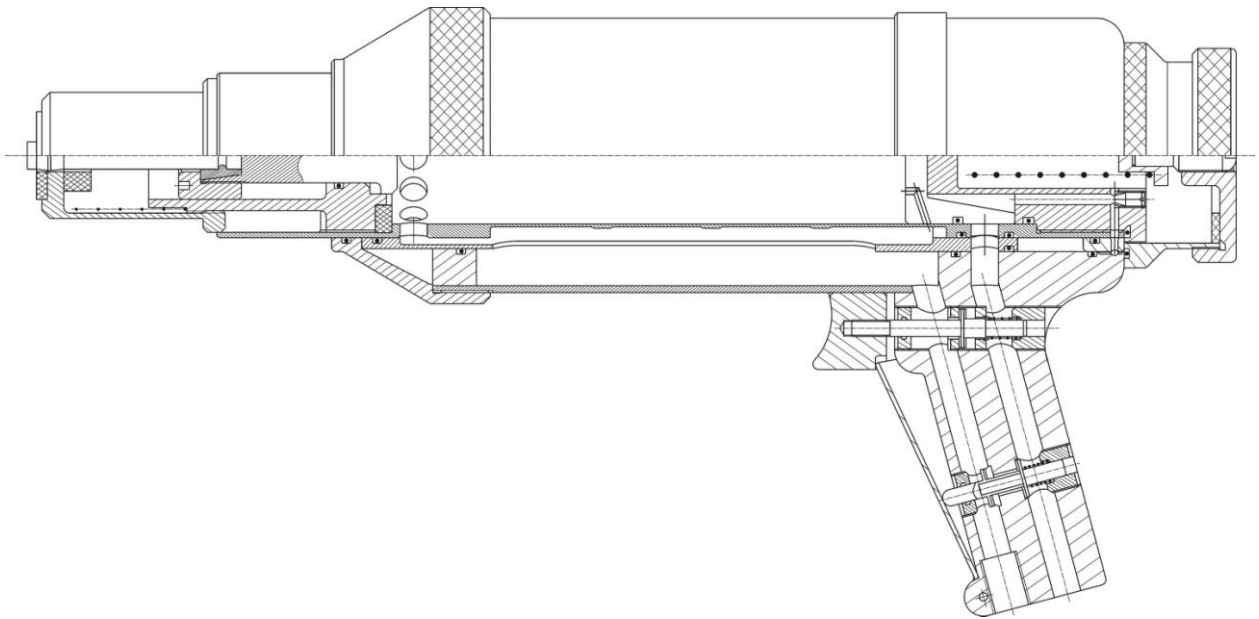


Рис. 5 – Пневмомпульсное устройство прямого и обратного действия (Патент України на винахід №81550 від 10.01. 2008 р.)

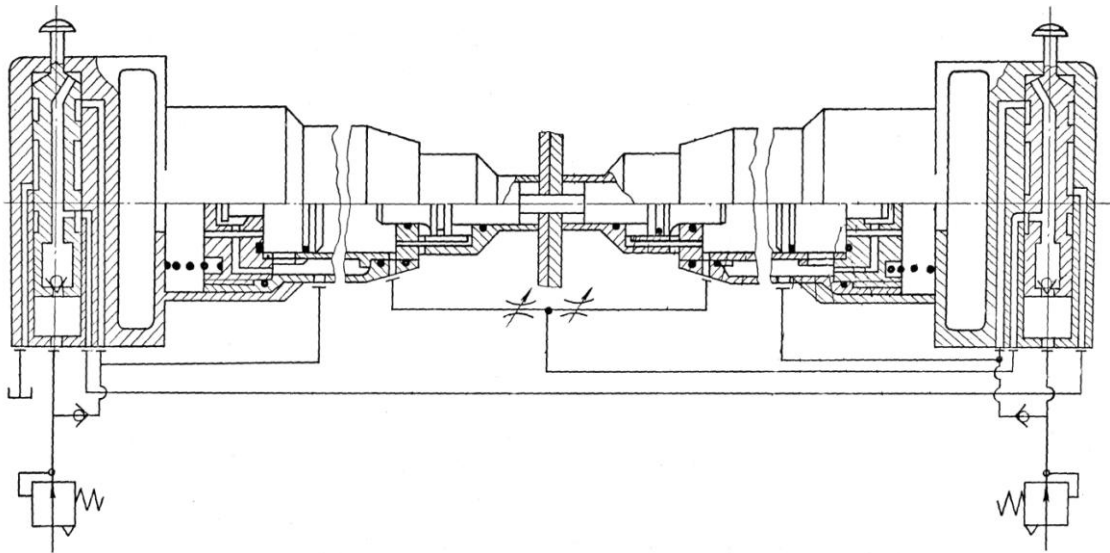


Рис. 6 – Устройства синхронного действия (А.с. СССР №839138 от 13.02.1981 г.)

Блок-схема показывает связь энергоносителя с рабочим элементом через систему функций: систему самоуправления, систему дифференциации управления, дренажно-демпферную полость, которые связаны энергоузлом, состоящим:

- из механизма управления возвратом в исходное состояние;
- накопителя потенциальной энергии (ресивер);
- цепи возврата бойка;
- цепи мгновенного опорожнения;
- предбойковой полости;
- забойковой полости;
- бойка (дорна, обжимки).

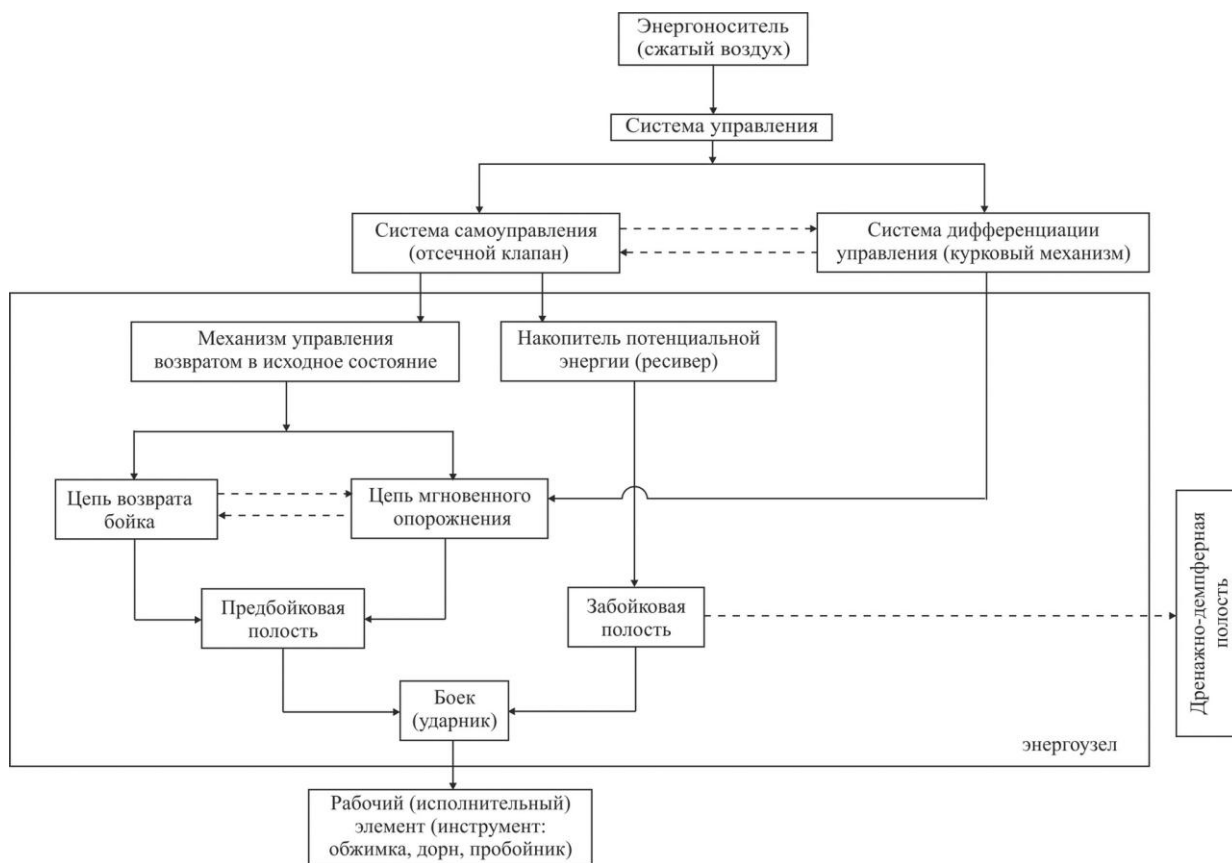


Рис. 7 – Функционально-элементная блок-схема РПИУ

Выводы

1. Сформулирован подход к разработке ручных пневмоимпульсных устройств для стапельной сборки ЛА.
2. Описана технологическая система сборки с использованием импульсного устройств, позволяющая определить граничные условия для создания пневмоимпульсных устройств.
3. Создана обобщенная схема для выполнения численного моделирования ТС импульсных технологий сборки авиационных конструкций.
4. Выполнен выбор оптимальных стандартных функций для описания свойств материалов элементов ТС при численном моделировании с использованием программных пакетов Ls-Dyna и Abaqus.
5. Разработана функционально-элементная блок-схема пневмоимпульсного устройства, которая позволяет учитывать факторы, определяющие ТС сборки ЛА в стапеле.

Список использованных источников:

1. Воробьев, Ю. А. Разработка технологического процесса и инструмента импульсной клепки авиационных конструкций из углепластика [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.07.04; защищена 19.03.04; утв. 12.05.04 / Воробьев Юрий Анатольевич. – Х., 2004. – 166 с.
2. Кривцов, В. С. Перспективные устройства для реализации процесса дорнования отверстий [Текст] / В. С. Кривцов, Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько // Кузнечно-штамповочное производство – Обработка металлов давлением. – М., 2004. – Вып. 12. – С. 18–30.
3. Воронько, В. В. Разработка технологического процесса и инструмента скоростного дорнования отверстий авиационных конструкций из алюминиевых сплавов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02; защищена 25.01.08; утв. 9.04.08 / Воронько Виталий Владимирович. – Х., 2007. – 133 с.
4. Кривцов, В. С. Скоростное дорнование отверстий авиационных конструкций из алюминиевых сплавов пневмоимпульсными устройствами [Текст]: моногр. / В. С. Кривцов, Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько; Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 99 с.
5. Воронько, В. В. Разработка пневмоимпульсного устройства для скоростного дорнования отверстий в авиационных конструкциях [Текст] / В. В. Воронько // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2009. – Вып. 2/59. – С. 41–48.
6. Пат. №81550. Україна. МПК (2006) B21 J 15/00 B25 D 9/00. Пнемоімпульсний пристрій дорнування отворів [Текст] / Кривцов В. С., Воробйов Ю. А., Чистяк В. Г., Воронько В. В.; Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – Заявл. 03.05.06; опубл. 10.01.08, Бюл. № 1. – 8 с.
7. Воробьев, Ю. А. Моделирование процесса дорнования отверстий под высокоресурсные болтовые соединения в системе LS-DYNA [Текст] / Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько, А. В. Зеленцов // Авіаційно-космічна техніка і технологія: тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. 25–27 травня 2005 р. – Х., 2005.

– С. 49.

8. Воробьев, Ю. А. Сравнительный анализ способов дорнования отверстий [Текст] / Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько, В. Н. Степаненко // Системы обработки информации: сб. науч. пр. / Харк. ун-т Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Х., 2007. – Вып. 34. – С. 71–79.

9. Воробьев, Ю. А. Определение рациональных параметров процесса скоростного дорнования отверстий с помощью LS-DYNA [Текст] / Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько, Ю. В. Дьяченко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2008. – Вып. 39. – С. 134–140.

10. Воронько, В. В. Проектирование много-переходной штамповки крышки гидроцилиндра с использованием численного моделирования [Текст] / В. В. Воронько, О. В. Шипуль // Зб. наукових праць Харківського ун-та Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Х., 2008. – Вып. 3 (18). – С. 14–19.

11. Моделирование процесса синхронной импульсной клепки стержнями с помощью LS-Dyna [Текст] / Ю. А. Воробьев, В. В. Воронько, Ю. В. Дьяченко, С. И. Носа // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2010. – Вып. 1 (68). – С. 5–10.

12. Воробьев, Ю. А. Верификация результатов численного моделирования импульсной постановки болтозаклепочных соединений в авиационных конструкциях [Текст] / Ю. А. Воробьев, В. М. Степаненко, А. Ю. Воробьев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2010. – Вып. 39. – С. 134–140.

13. Воробьев, Ю. А. Моделирование технологического процесса импульсной постановки саморезущих заклепок (self-pierce rivets) в конструкциях самолетов легкой авиации [Текст] / Ю. А. Воробьев, Б. В. Яцун // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. 21–22 квітня 2010 р. – Х., 2010. – С. 53.

14. Воробьев, Ю. А. Моделирование процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов [Текст] / Ю. А. Воробьев, И. А. Воронько // Проблемы створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тез. доп. міжнар. наук.-техн. конф. 21–22 квітня 2010 р. – Х., 2010. – С. 53.

15. Воробьев, Ю. А. Верификация численной модели процесса импульсного дорнования отверстий авиационных конструкций из титановых сплавов [Текст] / Ю. А. Воробьев, И. А. Воронько, Б. В. Яцун // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2010. – Вып. 46. – С. 88–98.

Воробьев Ю.А., Воронько В.В., Воронько И.А., Матцнер К. «Подход к созданию ручных пневмоимпульсных устройств для стапельной сборки летательных аппаратов».

Разработаны подход к созданию ручных пневмоимпульсных устройств для стапельной сборки летательных аппаратов, классификатор импульсных технологий при сборке авиационных конструкций с использованием ручных пневмоимпульсных устройств (клепальный молоток, устройство синхронной клепки, устройство дорнования отверстий, устройство постановки болт-заклепок), создана обобщенная схема процесса численного моделирования технологической системы для осуществления операций импульсных технологических процессов, проведен анализ рациональных стандартных функций для описания свойств материалов элементов технологической системы при численном моделировании с использованием программных пакетов Ls-Dyna и Abaqus.

Ключевые слова: соединение, импульсные технологии, технологическая система, сборка, пневмоимпульсные устройства, классификатор.

Воробйов Ю.А., Воронько В.В., Воронько І.О., Матцнер К. «Підхід до створення ручних пневмоімпульсних пристроїв для стапельного складання літальних апаратів».

Розроблено підхід до створення ручних пневмоімпульсних пристроїв для стапельного складання літальних апаратів, класифікатор застосування імпульсних технологій при складанні авіаційних конструкцій з використанням ручних пневмоімпульсних пристроїв (клепальні молоток, пристрій для синхронної клепки, пристрій дорнування отворів, пристрій постановки болтів-заклепок), створена узагальнена схема процесу чисельного моделювання технологічної системи для здійснення операцій імпульсних технологічних процесів складання авіаційних конструкцій, проведено аналіз раціональних стандартних функцій для опису властивостей матеріалів елементів технологічної системи при чисельному моделюванні з використанням програмних пакетів Ls-Dyna і Abaqus.

Ключові слова: з'єднання, імпульсні технології, технологічна система, зборка, пневмоімпульсні пристрої, класифікатор.

Vorobyov Yu.A., Voronko V.V., Voronko I.O., Matzner K. “Approach to the creation of hand pneumatic impulse devices jig for assembling aircraft”.

Developed an approach to the creation of hand pneumatic impulse devices jig Vehicle Assembly Building, the classifier of pulse technologies when building aeronautical designs using hand-held pneumatic impulse devices (riveting young current device for synchronous riveting device mandrelling holes, device for setting bolt rivets), created a generalized scheme of numerical simulation technology pulse system assembly technology airframe, a generalization of optimal standard functions for describing material properties of elements of technological systems in numerical modeling using software packages Ls-Dyna, and Abaqus.

Key words: connection, switching technology, technological system, assembly, pneumatic impulse device, classifier.

Стаття надійшла до редакції 19 листопада 2012 р.