
УДК 681.53, 681.587, 004.9

Расчет клапанов систем автоматического регулирования давления самолетов

Попова А.И.,* Третьякова О.Н.**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: abflug@mail.ru*

***e-mail: tretiyakova_olga@mail.ru*

Аннотация

Статья посвящена разработке программы для автоматизации конструирования клапанов систем регулирования давления, входящих в системы кондиционирования самолетов, для ускорения разработок новых клапанов с использованием ЭВМ. Приведены примеры применения разработанной программы для расчета клапанов реальных самолетов Ил-96 и Ту-204.

Ключевые слова: система автоматического регулирования давления, автоматизация конструирования, программирование, клапаны, расчет.

Введение

Развитие авиастроения требует современных подходов к конструированию различных элементов самолета. Одной из важнейших составляющих комфортного пребывания в самолетах является хорошая система кондиционирования салона. Для полноценного функционирования системы необходим постоянный контроль давления воздуха в салоне, для этого в состав системы кондиционирования самолета входит система автоматического регулирования давления (САРД). Одними из главных элементов САРД самолета являются клапаны различных типов.

Постановка задачи

Цель работы: Разработать программу для автоматизации конструирования существующих и проектирования новых клапанов САРД самолета. Для решения этой задачи необходимо:

1) Провести анализ существующих типов клапанов и их классификаций по функциональному назначению, а также выделить группы их входных и выходных параметров.

2) Сформулировать алгоритм работы программы расчета для трех типов выбранных клапанов: электрических, пневматических и гидравлических. Алгоритм работы программы включает: выбор типа клапана, ввод параметров клапана (входные данные).

3) Разработать программу для расчета выбранных типов клапанов на ЭВМ. Предусмотреть возможность масштабирования для применения программы к расчету новых типов клапанов, путем подключения нового программного блока.

4) Подтвердить работоспособность программы примерами расчета клапанов разных типов для реальных самолетов.

Исследование и результаты.

Классификация типов клапанов.

Исполнительные клапаны, устанавливаемые в САРД, разнообразны по схемным решениям и исполнению.

Это разнообразие приводит к трудностям при выборе необходимой конструкции и схемы исполнительного клапана САРД для вновь проектируемого

летательного аппарата (ЛА). Классифицировать клапаны можно по общим сходным признакам: по назначению, конструкции, питанию, положению запорного органа, виду запорного органа, вспомогательным функциям, управляемости, способу установки на объекте, по виду потребляемой энергии. В разных литературных источниках[1] встречаются различные виды классификации. В работе нами предложена новая обобщенная классификация, представленная на Рис.1.



Рис.1. Обобщенная классификация клапанов.

По назначению исполнительные клапаны делятся на следующие классы: выпускные, предохранительные, комбинированные.

По виду запорного органа исполнительные клапаны делятся на три класса: с твердым, эластичным и аэродинамическим запорными органами.

Исполнительным клапаном с твердым запорным органом (поршнем), не изменяющим свои формы в процессе перепуска рабочего тела (воздуха), называется клапан с устройством для изменения гидравлического сопротивления проходного сечения.

Исполнительным клапаном с эластичным запорным органом (мембрана), изменяющим свою форму в процессе перепуска рабочего тела, называется клапан с устройством для изменения гидравлического сопротивления проходного сечения.

Исполнительным клапаном с аэродинамическим запорным органом называется клапан, снабженный устройством для струйного управления потоком выходящего воздуха из гермокабины или входящего в нее из атмосферы.

Также как другие исполнительные механизмы клапаны различаются *по виду потребляемой энергии*. Можно выделить три типа клапанов: пневматические, гидравлические, электрические [1].

Пневматические клапаны, в свою очередь, делятся на три вида: мембранные, поршневые и сильфонные. Электрические – на электромагнитные и электродвигательные. Гидравлические – на дроссельные, струйные и объёмные, Рис.2 [1].

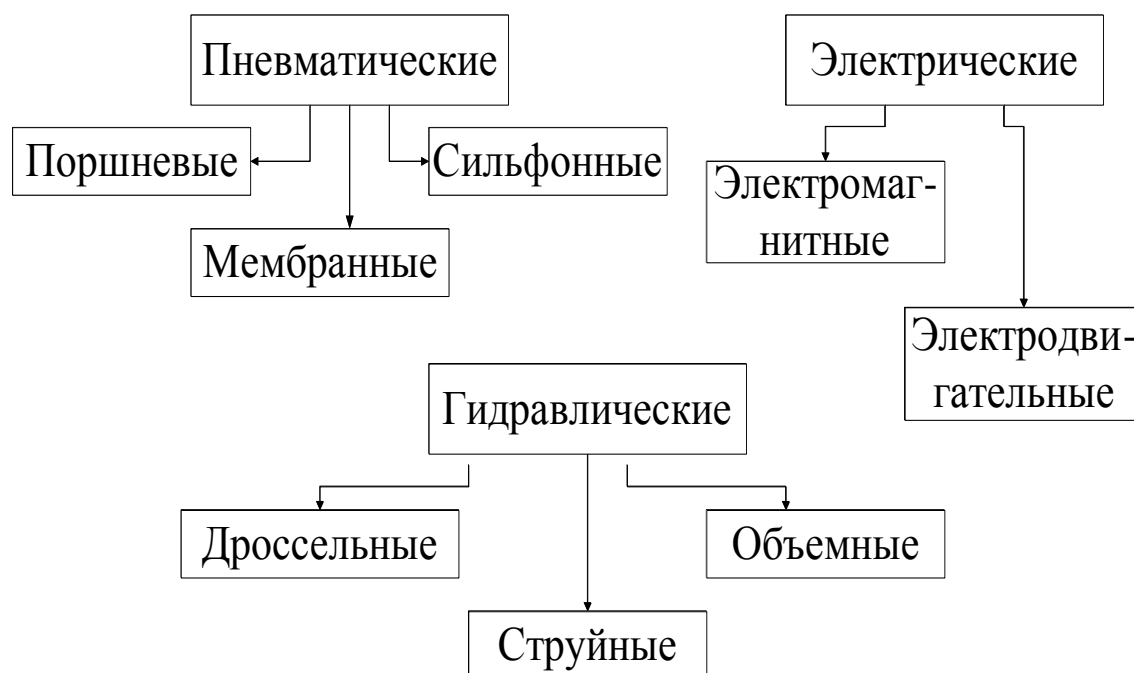


Рис.2. Классификация клапанов по виду потребляемой энергии.

В данной работе рассматриваются исполнительные клапаны, разделенные по виду потребляемой энергии: пневматические, гидравлические, электрические. Мы будем рассматривать особенности конструкции данных клапанов и расчет их основных параметров с помощью разработанной нами программы *CLAPANI*.

Для электрических клапанов были выделены следующие параметры: Абсолютное давление газа перед регулирующим органом; Абсолютное давление газа после регулирующего органа при максимальном расходе; Присоединительный (условный) диаметр регулирующего органа; Радиус шейки вала заслоночного регулирующего органа; Коэффициент трения в опорах Коэффициент запаса; Данные параметры позволяют определить: Перепад давления при максимальном расходе; . Перепад давления, соответствующий максимуму гидродинамического момента;

Максимальный гидродинамический момент на валу регулирующего органа;

Максимальный момент трения в опорах вала регулирующего органа; Крутящий момент на валу регулирующего органа [2].

Расчет **пневматических** клапанов разделен по их виду – на мембранные и поршневые, сильфонные клапаны в данной работе не рассматриваются, поскольку редко используются в системах кондиционирования самолетов.

Основными техническими характеристиками пневматических мембранных клапанов являются: диапазон изменения давления воздуха в рабочей полости; Величина перемещения выходного звена; эффективная площадь мембраны, расход (пропускная способность клапана). Диапазон изменения давления воздуха в рабочей полости мембранных клапанов определяется по ГОСТ 9988-84. Величина линейных перемещений штока мембранных клапанов должна соответствовать ГОСТ 9887-70. Для определения данных параметров предусмотрена библиотека ГОСТов. Для расчета эффективной площади мембраны и ее тягового усилия необходимо знать рабочий радиус мембраны, радиус жесткого центра, давление, действующее на мембрану [1].

Основные параметры, рассчитываемые при конструировании пневматических поршневых клапанов: Усилие, создаваемое на штоке клапана; Усилие от давления рабочей среды на поршень; Сила трения поршня о корпус. Для определения данных параметров используются следующие данные: усилие от давления рабочей среды на поршень; сила трения; усилие, создаваемое пружиной, диаметр поршня; диаметр штока; давление в рабочей полости исполнительного

механизма; перепад давления на поршне, ширина манжет (кольца); число манжет (колец); коэффициент трения.

Кроме того, отдельно предусмотрен расчет пружин, входящих в конструкцию как мембранных, так и поршневых клапанов. Пружины разделены на два вида: цилиндрические и конические [4]. Для каждого вида выделены свои группы входных и выходных параметров.

Для гидравлических клапанов вычисляются: Величина перестановочного усилия; Сила трения поршня о стенки цилиндра; Величина перестановочного момента [1].

Для определения всех расчетных параметров использовались расчетные формулы, применяемые традиционно в инженерных расчетных методиках без использования ЭВМ. Например, для определения расхода клапана используют следующие соотношения:

$$G_{\max}^{\text{расч}} = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2q\gamma\Delta P} \text{ кг/с, где}$$

$\mu = 0,8$ – коэффициент расхода, F – площадь проходного сечения клапана ,

$\Delta P = P_{\text{каб}} - P_{\text{атм}}$ – перепад давления между кабиной и атмосферой ,

$\gamma = \frac{P_{\text{каб}}^{\text{абс}}}{R \cdot T}$ – удельный вес воздуха, R – универсальная газовая постоянная,

T – абсолютная температура.

Исходными данными, которые задает конструктор, являются следующие параметры: высота полета в атмосфере H , максимальный расход – G , абсолютное давление в атмосфере $P_{\text{атм}}^{\text{абс}}$, абсолютное давление в кабине $P_{\text{каб}}^{\text{абс}} = P_{\text{атм}}^{\text{абс}} + \Delta P_{\text{каб}}$,

T – температура в кабине.

Создание программного продукта для автоматизации инженерных расчетов при конструировании различных типов клапанов позволяет сократить время на их разработку в несколько раз, а также уменьшить трудоемкость работы инженера-конструктора.

Описание программы

Исходя из анализа входных и выходных параметров для различных типов клапанов, был сформулирован алгоритм работы программы, который иллюстрируют схемы, представленные на Рис.3 - 5.

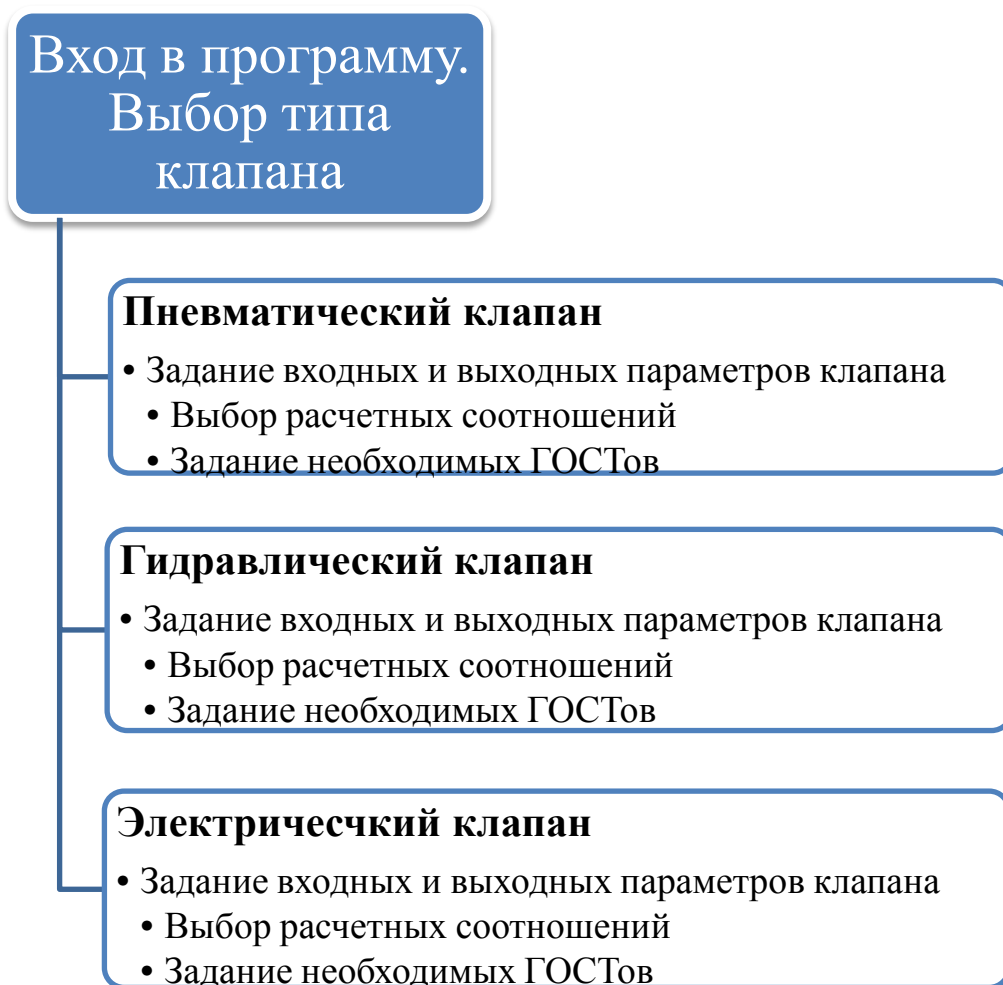


Рис.3. Блок- схема начала программы

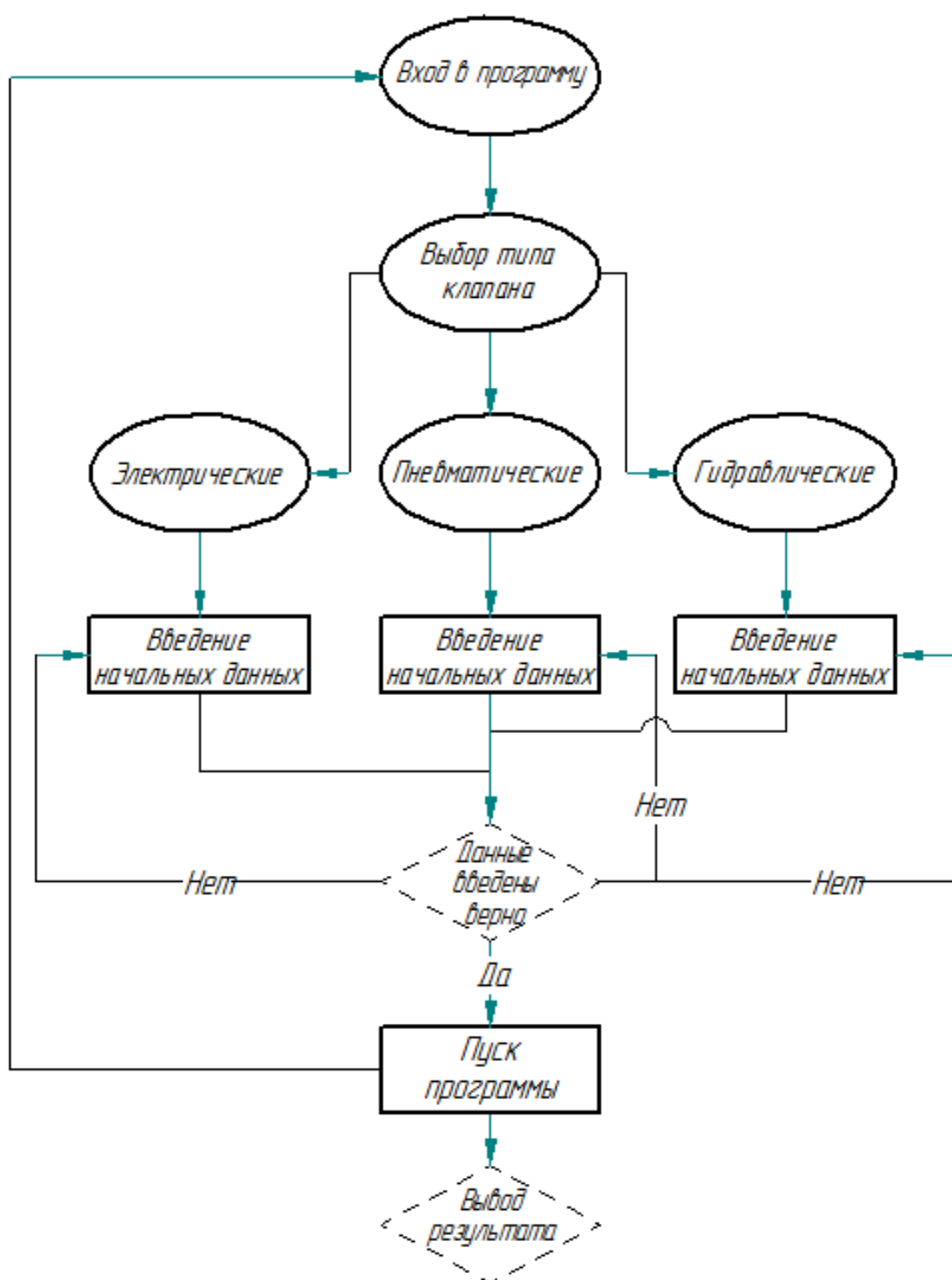


Рис.4. Блок-схема программы

Классы и зависимости

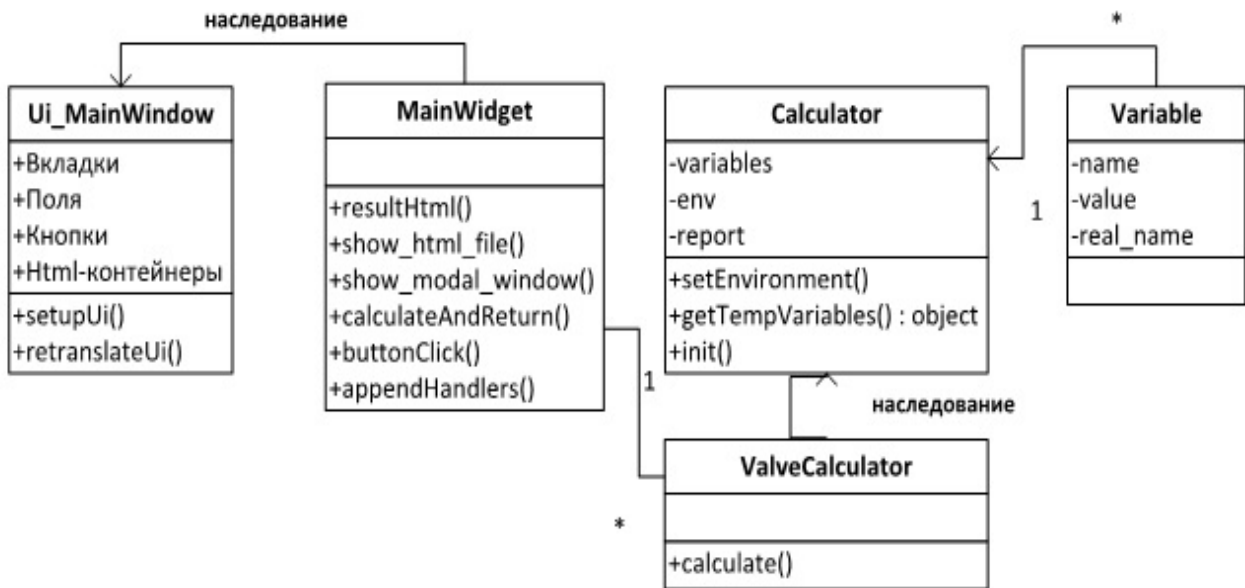


Рис.5 Структурная схема программы *CLAPANI*.

Программа *CLAPANI* представляет собой универсальную структуру математических расчетов. Программа написана на языке программирования *Rython*[5]. Для создания программы использовалась интегрированная среда разработки *JetBrainsPyCharmProfessional3.0*, для разработки интерфейса - среда *QtCreator5.1.1*[6].

Опишем структурную схему программы (см. Рис.5). Конечный расчет реализует класс *ValveCalculator*. Этот класс является конкретный классом для расчетов по стандартной линейной схеме с последовательным получением неизвестных решением математических выражений. Он последовательно получает

результаты математических выражений, в которых присутствуют уже известные (в частности, вычисленные ранее) переменные [5].

Класс *ValveCalculator* содержит метод: *calculate*, который производит все необходимые расчеты на основе массива формул *terms*, и возвращает текстовую сводку по результатам расчетов.

Класс *Calculator* является основным классом для ведения расчетов. *Calculator* содержит следующие атрибуты: *variables* - массив входных переменных со значениями; *env* - конфигурационный массив; *report* - текст сводки по результатам расчетов. При необходимости усложнения методов расчетов требуется лишь дополнить абстрактный класс *Calculator* новым потомком, в методах которого будет описана логика расчетов. Формулы для расчетов задаются записью в конфигурационный файл математических выражений, в которых используются математические операторы языка *Python*.

Класс *Ui_MainWindow* - базовая конфигурация основного окна программы. Содержит следующие атрибуты: - Вкладки; Поля; Кнопки; Html – контейнеры. Содержит следующие методы: *setupUi*- метод создает все элементы окна; - *retranslateUi*-создает текстовые элементы окна (надписи, заголовки) .

Класс *MainWidget* является контейнером для методов главного окна. Имеет следующие методы: *resultHtml* - возвращает *html*-обертку для результатов расчетов; *show_html_file* - выводит модальное окно и наполняет его *html*-содержимым из файла, относительный путь к которому передается методу напрямую; *show_modal_window* - создает модальное окно с *html*-контейнером, кнопками

"Печать" и "Закреть" и показывает его пользователю; *calculateAndReturn* - создает объект калькулятора по строковому типу (в нашем случае - *ValveCalculator*), заполняет его атрибуты и запускает расчет (метод *calculate*), и возвращает результат в виде строк текста, разделенных символами переноса; *buttonClick* - универсальный обработчик нажатия на кнопку. Выбирает тип калькулятора из соответствующего свойства кнопки и делегирует процесс методу *calculateAndReturn*; - *appendHandlers* - создает обработчики событий окна. Метод пробегается по всем кнопкам окна и подключает к ним события расчета или показа модального окна в зависимости от характеристик данных кнопок.

Класс *Variable* – класс абстрактных переменных, содержит следующие атрибуты: *name* - короткое имя переменной для внутренних расчетов; *value* - значение переменной; *real_name*- реальное имя переменной .

Программа написана с учетом возможности масштабирования, как по характеру, так и по объему расчетов на основании конкретных данных. Изменение логики расчетов, их объема, а также внедрение новых расчетов не требует изменения в существующем коде программы. Требуется лишь изменение ее конфигурации, - дополнения ее блоками для расчетов новых видов клапанов.

Пример работы программы

Для проверки правильности расчетов с использованием программы *CLAPANI* были взяты два реальных готовых клапана. Один поршневой используется в системе кондиционирования воздуха самолета ИЛ-96, другой мембранно-пружинный клапан - в самолете Ту-204 [3].

Рассмотрим пример расчета поршневого клапана самолета Ил-96.

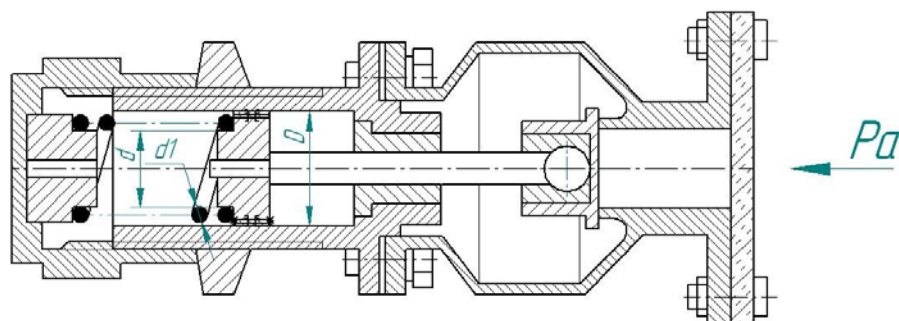


Рис.6. Конструкция поршневого клапана.

Поршневые клапаны используются при необходимости создания больших перемещений рабочего органа регулирующего органа. Поршневые исполнительные клапаны бывают одностороннего и двойного действия. У клапанов одностороннего действия перемещение поршня осуществляется в одну сторону силой давления рабочей среды, а в другую – усилием пружины. У исполнительных клапанов двойного действия перемещение поршня при прямом и обратном ходах производится давлением рабочей среды. Основные параметры, которые необходимо вычислить при конструировании поршневых клапанов: $P_{у}$ усилие, создаваемое на штоке клапана, P_p усилие от давления рабочей среды на поршень, $P_{тр}$ силу трения поршня о корпус [7].

Усилие, создаваемое на штоке исполнительного механизма равно:

Для механизма одностороннего действия:

$$P = P_p - P_{mp} - P_n, \quad (1)$$

где P_p - усилие от давления рабочей среды на поршень; P_{mp} - сила трения;

P_n - усилие, создаваемое пружиной.

Для механизма двойного действия:

$$P = P_p - P_{mp} . \quad (2)$$

Усилие от давления рабочей среды на поршень определяется соотношениями (3,4):

Для механизма одностороннего действия

$$P_p = 0,785D_n^2 p, (3)$$

Для механизма двойного действия

$$P_p = 0,785(D_n^2 - d_{ш}^2)\Delta p, (4)$$

где D_n - диаметр поршня; $d_{ш}$ - диаметр штока; p - давление в рабочей полости исполнительного механизма; Δp - перепад давления на поршне.

Сила трения складывается из силы трения поршня о цилиндр и силы трения в сальнике. Сила трения поршня о цилиндр при уплотнении манжетами и резиновыми кольцами равна

$$P_{mp.n} = \pi D_n b \mu p n, (5)$$

где b - ширина манжет (кольца); n - число манжет; μ - коэффициент трения. [8]

В рассматриваемом примере для расчета поршневого клапана самолета

Ил-96 вводятся следующие параметры:

$D_n = 20$ мм - диаметр поршня;

$p = 0,1$ кПадавление в рабочей полости исполнительного механизма; $b = 0,1$ мм - ширина манжет (кольца); $n = 2$ - число манжет; $\mu = 0,7$ - коэффициент трения. $P_a = 35,5$ Н - сила разряжения, действующая на клапан в процессе впуска.

Для расчета цилиндрической пружины вводим следующие параметры:

$P_a = 35,5$ Н – сила разряжения, действующая на клапан в процессе впуска;

$d = 12,8$ мм – диаметр горловины клапана; $n_0 = 21$ – число витков пружины;

$n_1 = 18$ – число рабочих витков пружины; $h = 4$ мм – расстояние между витками;

$P_n = 40$ Н – максимальная сила, приложенная к пружине, $D = 1,6$ мм – диаметр проволоки пружины.

Вводим данные значения в соответствующие поля ввода. Для этого открываем вкладку «Пневматические клапаны». На рисунках 6-8 представлены три вкладки программы с расчетом поршневого клапана. На Рис.6. показан окно ввода данных с внесенными значениями. После нажатия кнопки «Рассчитать» появляется окно с результатами расчетов Рис.7,8 .

Clapan 1.0

Электрические клапаны Пневматические клапаны Гидравлические клапаны Теория

Поршневые клапаны

Dп 20

p 0,1

b 0,1

n 2

μ 0,7

Pa 35,5

Расчитать

Мембранные клапаны

Δp Диапазон изменения давления воздуха в рабочей полости определяется по ГОСТ 9988-84

ГОСТ 9988-84

Δl Величина линейных перемещений штока мембранных клапанов

ГОСТ 9887-70

Мембраны

R рабочий радиус мембраны

r радиус жесткого центра

p давление, действующее на м...

Расчитать

Пружины

цилиндрические

Pa 35,5

d 12,8

n0 21

n1 18

h 4

Pn 40

D 1,6

Расчитать

конические

r1 радиус верхнего витка

r2 радиус нижнего витка

P давление подаваемое на пр...

n число рабочих витков

n1 общее число витков n+2

d диаметр проволоки пружины

φ угол от начала пружины до ...

Расчитать

Расчет поршневых клапанов

Вводим следующие параметры:

Dп- диаметр поршня;

P- давление в рабочей полости исполнительного механизма;

b- ширина манжет (колец);

n- число манжет (колец);

μ - коэффициент трения.

Pa- сила разрежения, действующая на клапан в процессе впуска.

Расчет мембран

Рис.6. Ввод данных для расчета поршневого клапана.

Результат

Результаты расчетов

$P_{np} = 1.4 * p_a = 49.7$

$P_{mpn} = p_i * d^3 * b^1 * \mu^1 * p_p * n^1 = 0.8792$

$P_p = 0.785 * ((d^2)^2 * p_p) = 31.4$

$P = P_{np} - P_{mpn} - P_p = 17.4208$

Печать Закрыть

Рис.7. Результат расчета основных параметров поршневого клапана.

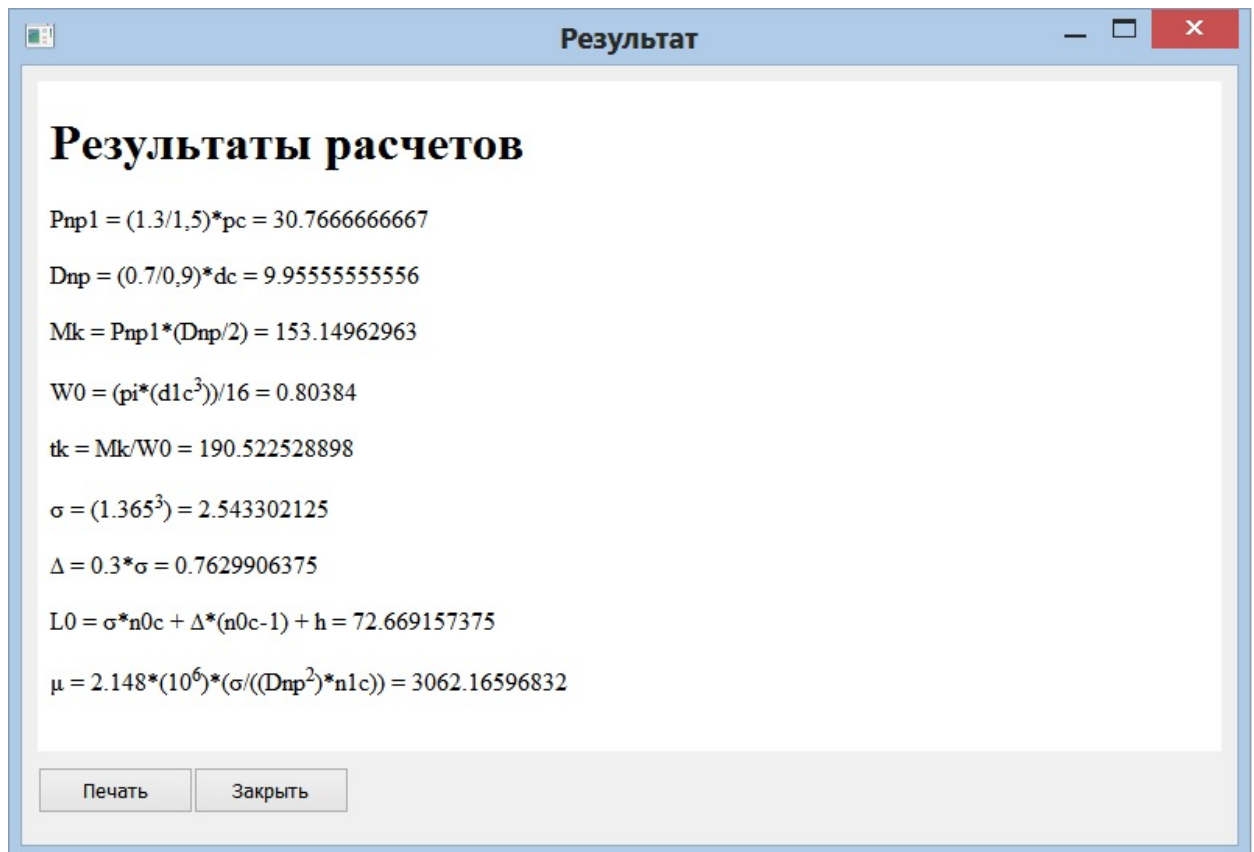


Рис.8. Результат расчета цилиндрической пружины поршневого клапана.

Полученные результаты соответствуют реальным показателям клапана. Аналогичные результаты были получены мембранно-пружинного клапана для самолета Ту-204, что подтверждает правильность работы программы.

Выводы

В работе представлена возможность автоматизации конструирования для ускорения разработки новых клапанов САРД самолетов с использованием ЭВМ. Проведен анализ существующих типов клапанов и их классификация по функциональному назначению, а также выделены группы их входных и выходных параметров.

Разработана программа *CLAPANI*, выполняющая расчет основных параметров и элементов конструкции пневматических, гидравлических и электрических клапанов, используемых в САРД самолетов. Для создания программы используется кроссплатформенный инструментарий разработки *QT* и язык программирования *Rython. (PyQt)*.

Приведенные примеры применения разработанной программы для расчета мембранно-пружинного клапана для самолета Ту-204, и поршневого клапана для самолета Ил-96, подтвердили работоспособность программы.

Разработка имеет практическое значение. Созданная программа для автоматизации конструирования клапанов САРД может применяться в конструкторских бюро при создании новых клапанов в авиационных системах кондиционирования воздуха.

Библиографический список

1. Воронин Г.И. Конструирование машин и агрегатов систем кондиционирования. – М.: Машиностроение, 1978. – 544 с.
2. Емельянов А.И., Емельянов В.А., Калинина С.А. Практические расчеты в автоматике – М.: Машиностроение, 1967. – 316 с.
3. Щербаков А.В. Автоматическое регулирование авиационных систем кондиционирования воздуха - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.– 290 с.
4. Асс Б.А., Жукова Н.М., Антипов Е.Ф. Детали и узлы авиационных приборов и их расчет. –М.: Машиностроение. 1966. – 416 с.

5. Лутц М. Программирование на Python: Пер. с англ. - СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 992 с.
6. Боровский А. В. Qt 4.7+ Практическое программирование на C++. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 496 с.
7. Герц Е.В. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. – М.: Машиностроение, 1981.- 203 с.
8. Илюшин Ю.С., Олизаров В.В., Кислородное оборудование летательных аппаратов и высотное спецснаряжение – М.: Воениздат, 1970.- 284с.
9. Попова А.И., Третьякова О.Н. Автоматизация конструирования клапанов систем регулирования давления самолетов// Материалы 12 Международной конференции "Авиация и космонавтика-2013". Москва, Россия, 12-15 ноября 2013.С.97-99.