

БИБЛИОТЕКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРО- И ПНЕВМОСИСТЕМ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

Тимофеев Юрий Михайлович (к.т.н.)

КБ «Арматура» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»

Гидравлические и пневматические системы находят широкое применение в ракетно-космической, авиационной, станкостроительной, судостроительной и других отраслях машиностроения. К подобным системам можно отнести гидро- и пневмоприводы станков, мобильных машин и судов, системы газоснабжения ракетно-космических комплексов, гидро- и пневмосистемы ракет-носителей и самолетов.

В большинстве случаев проектирование и отработка гидро- и пневмосистем сопровождаются численным экспериментом на основе математической цифровой модели с сосредоточенными параметрами.

Сложность структуры рассматриваемых систем и наличие нескольких видов протекающих в них физических процессов зачастую приводят к значительным временным затратам на разработку математического описания и его реализацию в виде программы для ЭВМ. Решить эту проблему призваны программные комплексы, позволяющие проводить расчеты переходных процессов в гидро- и пневмосистемах на основе полуавтоматически формируемых цифровых моделей (модель набирается из специальных блоков, которые соединяются линиями связей). В качестве примера можно назвать программный комплекс «AMESim» компании «LMS Imagine» и библиотеку «Simscape» модуля «Simulink» программы «Matlab».

В настоящее время в Конструкторском бюро «Арматура» (г. Ковров) проводятся работы по формированию математических описаний и цифровых моделей для их использования при динамических расчетах гидравлических и пневматических систем в отечественном программном комплексе (ПК) «SimInTech». ПК «SimInTech» входит в Единый реестр российских программ для ЭВМ и баз данных и является аналогом известных зарубежных программ моделирования динамических систем «VisSim» и «Matlab/Simulink».

Разрабатываемые цифровые модели образуют библиотеку, имеющую рабочее название «PHS.LPM» («Pneumo- and hydrosystems. Lumped parameters models» – «Пневмо- и гидросистемы. Модели с сосредоточенными параметрами»).

В основе разработки лежит представление гидро- или пневмосистемы как совокупности связанных подсистем различной физической природы (рисунок 1). Под этим понимается, что любая система может быть условно разделена на части (подсистемы), каждая из которых может быть математически описана с помощью знаний одного из разделов физики. При этом выходные параметры математического описания одной подсистемы являются входными параметрами математического описания другой (связанной) подсистемы.

В составе гидро- и пневмосистем можно выделить следующие подсистемы:

- **механическую**, к которой относятся процессы движения рабочих органов системы и связанных с ними деталей;
- **тепловую**, к которой относятся процессы теплопередачи между рабочей средой, деталями системы и окружающей средой;
- **гидродинамическую**, к которой относятся процессы течения рабочих сред через каналы системы;

- **электромагнитную**, к которой относятся процессы преобразования электрической энергии в магнитную;
- **термодинамическую**, к которой относятся процессы изменения параметров рабочих сред (в результате обмена массой, теплом и работой) в междроссельных камерах или емкостях, а также процессы нагрева или охлаждения деталей системы (в результате теплообмена).

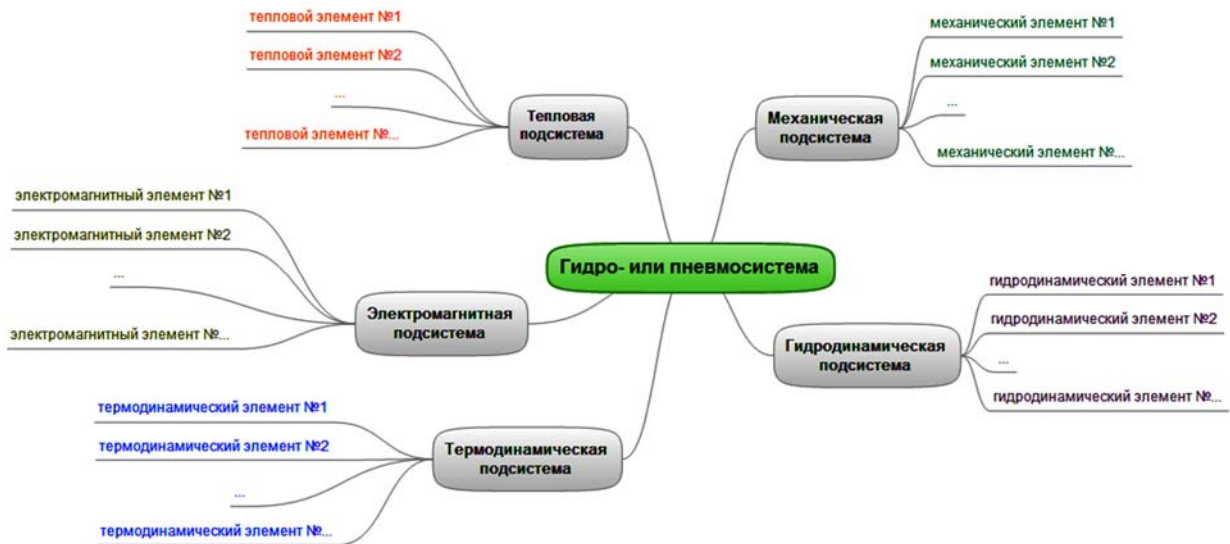


Рисунок 1. Гидро- или пневмосистема как совокупность связанных подсистем различной физической природы

Каждая из указанных выше подсистем состоит из одного и более элементов (рисунок 1). Под элементом подсистемы понимается:

- **механический элемент** – одна или несколько связанных подвижных деталей системы, параметры движения (перемещение, скорость, ускорение) которых можно считать одинаковыми в каждый момент времени;
- **термодинамический элемент** – ограниченный объем вещества (газообразного, жидкого, твердого), термодинамические параметры в каждой точке которого можно считать одинаковыми; для газообразных и жидких сред дополнительным условием является малый вклад кинетической энергии в полную энергию вещества в рассматриваемом объеме;
- **гидродинамический элемент** – канал системы той или иной формы, по которому течет рабочая среда;
- **электромагнитный элемент** – совокупность неподвижных деталей системы, позволяющих преобразовывать электрическую энергию в силу или момент, действующие на связанный механический элемент;
- **тепловой элемент** – условный объем материи малой толщины, разделяющий два контактирующих друг с другом термодинамических элемента и имеющий термическое сопротивление.

Каждый из рассмотренных выше элементов подсистем может иметь несколько типов, отличающихся друг от друга конструктивными особенностями и/или набором условий и допущений, принятых при описании элемента.

Например, разными типами гидродинамического элемента могут считаться два дросселя одинаковой конструкции, через один из которых течет газ, а через другой – жидкость. В этом случае, типы гидродинамического элемента отличаются условиями и допущениями.

Другим примером разных типов гидродинамического элемента могут быть два дросселя, отличающихся конструкцией (например, регулируемый и нерегулируемый, ламинарный и турбулентный), но работающих с одинаковой средой. Здесь типы элемента могут отличаться как только конструктивными особенностями, так и одновременно конструкцией и перечнем условий и допущений.

Основой разрабатываемой библиотеки для ПК «SimInTech» являются базовые блоки – цифровые модели элементов подсистем различных типов. Библиотека также содержит:

- блоки (цифровые модели), необходимые для осуществления связей базовых блоков библиотеки «PHS.LPM» между собой, а также с блоками других библиотек ПК «SimInTech»;
- блоки (цифровые модели), описывающие гидро- и пневмомашины, а также устройства гидро- и пневмоавтоматики конкретных конструкций, сформированные из базовых блоков библиотеки.

Текущее наполнение библиотеки «PHS.LPM» представлено на рисунке 2.

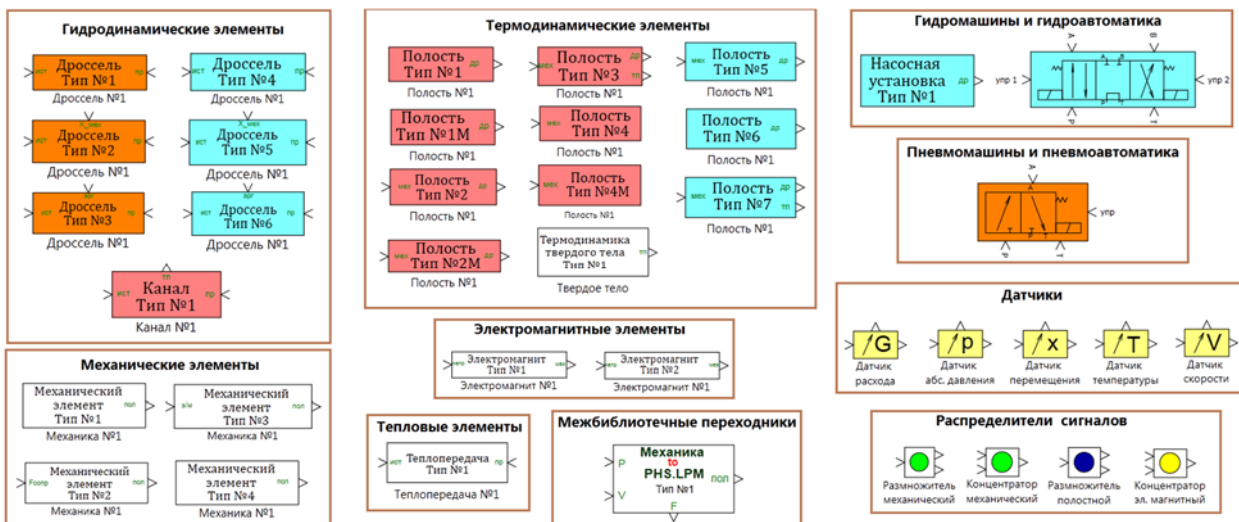


Рисунок 2. Текущее наполнение библиотеки «PHS.LPM»

Гидродинамические элементы в библиотеке представлены (рисунок 2):

- турбулентными нерегулируемыми газовым и жидкостным дросселями;
- турбулентными регулируемым газовым и жидкостным дросселями, площадь проходного сечения которых зависит от перемещения регулирующего элемента;
- турбулентными регулируемым газовым и жидкостным дросселями, площадь проходного сечения которых зависит от произвольного параметра (времени, абсолютного давления, температуры, скорости, перемещения и т.д.);
- каналом постоянного или плавно меняющегося по длине проходного сечения, образованным одной и более твердыми стенками, с которыми рабочая среда (газ или жидкость) может обмениваться теплом; течение среды рассматривается в квазистационарной постановке, т.е. считается, что при изменении параметров рабочей среды на входе канала происходит мгновенное изменение параметров на выходе.

Термодинамические элементы в библиотеке представлены (рисунок 2):

- теплоизолированной полостью постоянного объема с газом или жидкостью, давление и температура в которой переменны во времени;
- полостью постоянного объема с жидкостью, давление в которой переменное, а температура постоянна во времени; процесс изменения давления в полости может быть либо изотермическим, либо адиабатным;
- теплоизолированной полостью переменного объема с газом или жидкостью, давление и температура в которой переменны во времени; изменение объема полости обусловлено перемещением связанных механических элементов;
- полостью переменного объема с жидкостью, давление в которой переменное, а температура постоянна во времени; процесс изменения давления в полости может быть либо изотермическим, либо адиабатным; изменение объема полости обусловлено перемещением связанных механических элементов;
- полостью с газом или жидкостью, в которой давление и температура среды постоянны во времени;
- глухой теплоизолированной полостью переменного объема с газом или жидкостью; изменение объема полости обусловлено перемещением связанных механических элементов;
- твердым телом с сосредоточенной массой, средняя температура которого переменна во времени и зависит от теплообмена с окружающими телами или средами.

Механические элементы в библиотеке представлены (рисунок 2):

- механическим элементом поступательного движения, на который действуют: сила инерции, позиционная сила, сила вязкого трения, сила сухого трения; сила сухого трения разделена на силу трения при страгивании и силу трения при движении, каждая из которых является постоянной величиной;
- механическим элементом поступательного движения, на который действуют: сила инерции, позиционная сила, сила вязкого трения, сила сухого трения, сила сопротивления (постоянная или переменная во времени); сила сухого трения разделена на силу трения при страгивании и силу трения при движении, каждая из которых является постоянной величиной;
- механическим элементом поступательного движения, на который действуют: сила инерции, позиционная сила, сила вязкого трения, сила сухого трения, сумма сил связанных электромагнитов; сила сухого трения разделена на силу трения при страгивании и силу трения при движении, каждая из которых является постоянной величиной;
- кривошипно-ползунным механизмом с постоянной скоростью вращения кривошипа; сила, действующая на ползун, не оказывает влияния на характер движения механизма (скорость вращения кривошипа считается постоянной во времени).

Электромагнитные элементы в библиотеке представлены (рисунок 2):

- нейтральным броневым втяжным электромагнитом с питанием от источника постоянного напряжения;
- нейтральным броневым втяжным электромагнитом с питанием от источника переменного напряжения и мостовым диодным выпрямителем.

Тепловые элементы в библиотеке представлены (рисунок 2) условной теплопередающей прослойкой между двумя контактирующими телами (между двумя твердыми телами, между твердым телом и рабочей средой в полости/канале, между двумя рабочими средами), термическое сопротивление которой, а также площадь теплообмена считаются постоянными величинами.

В качестве примера использования библиотеки «PHS.LPM» на рисунках 3-6 приведены соответственно: принципиальная схема, расчетная схема, цифровая модель и некоторые результаты расчета однопоршневого компрессора, совершающего работу по заполнению теплоизолированной полости атмосферным воздухом.

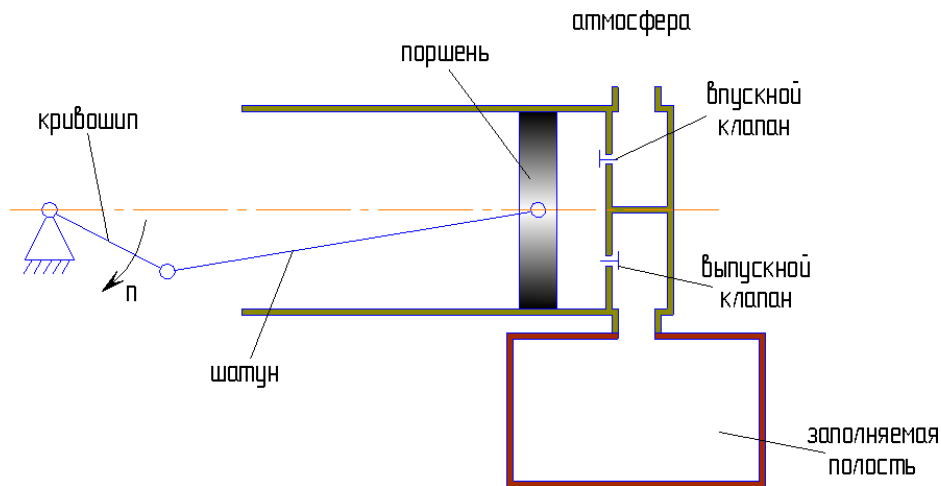


Рисунок 3. Принципиальная схема работы компрессора по заполнению полости атмосферным воздухом

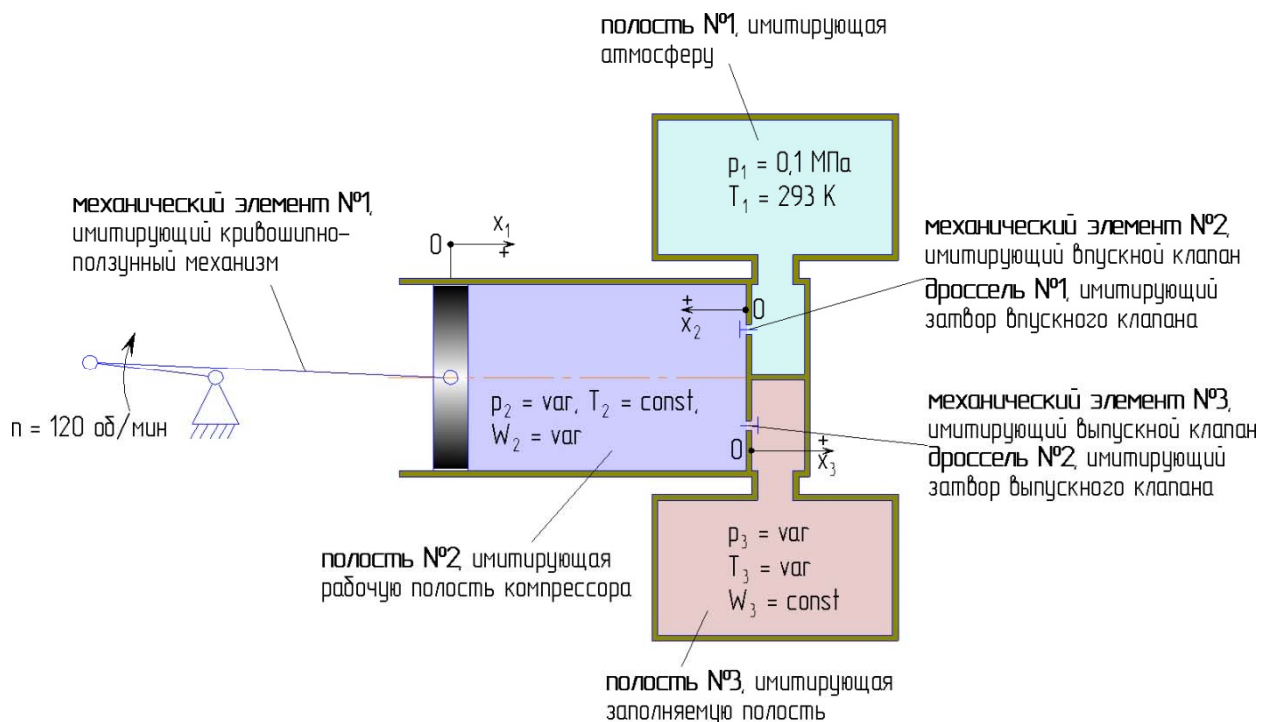


Рисунок 4. Расчетная схема для моделирования работы компрессора по заполнению полости атмосферным воздухом

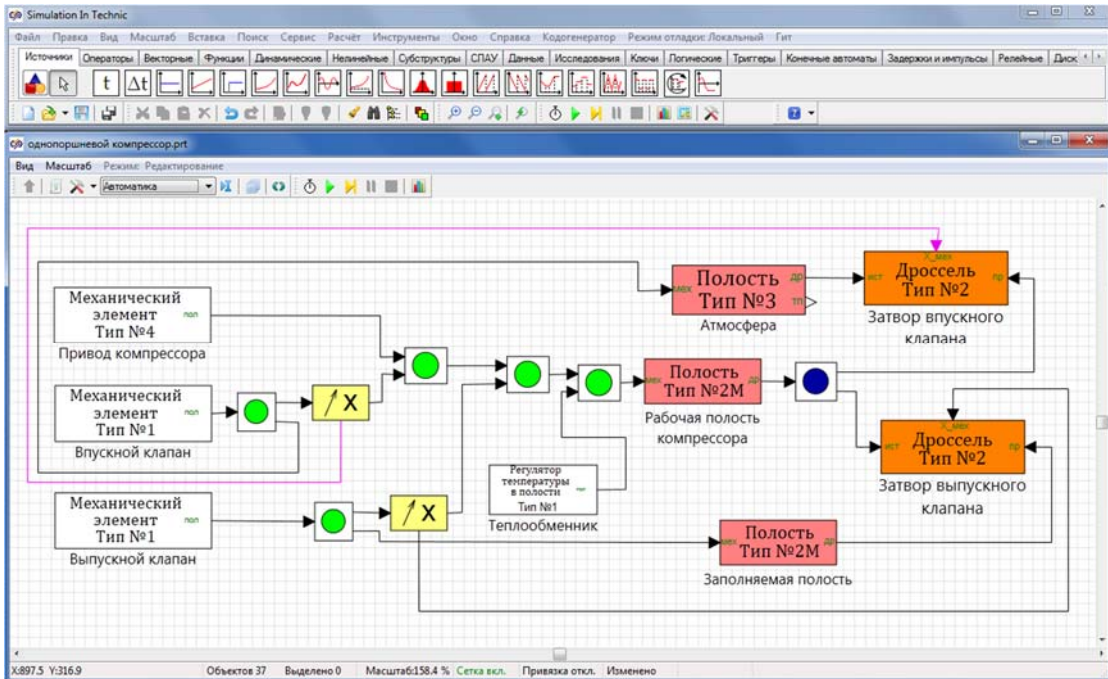


Рисунок 5. Рабочее окно программы SimInTech с цифровой моделью компрессора, заполняющего полость атмосферным воздухом

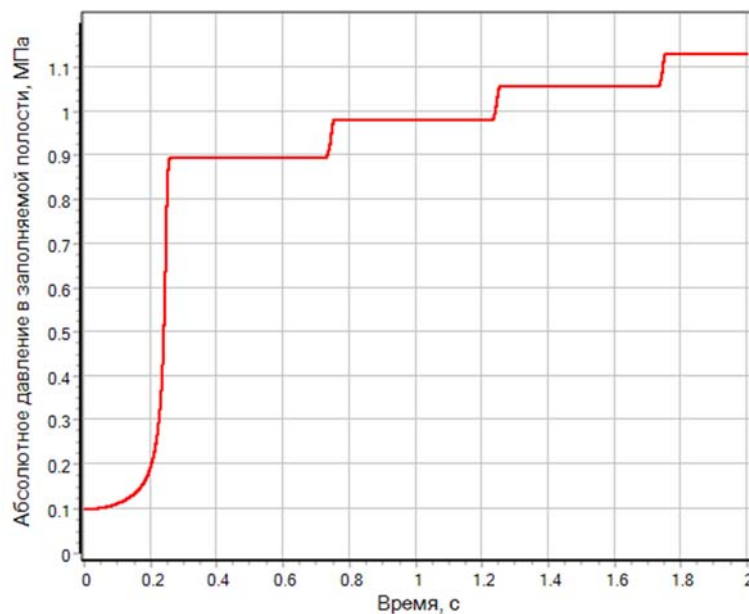


Рисунок 6. Переходный процесс по абсолютному давлению воздуха в заполняемой полости

Продолжением работ по рассмотренной теме является увеличение ряда цифровых моделей типовых элементов подсистем, а также ряда моделей гидро- и пневмо- машин и устройств. Это позволит расширить круг задач по расчету динамических характеристик гидро- и пневмосистем, а также сократить время разработки их цифровых моделей в ПК «SimInTech».