

# Применение среды Simulink при разработке модели регулирования давления воздуха в герметической кабине воздушного судна

С.В. Кучевский, e-mail: faust2@bk.ru

Д.Д. Бухарин, e-mail: faust2@bk.ru

В.М. Дмитриев, e-mail: dvm84@bk.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и  
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

***Аннотация.** В данной работе представлены пример построения модели регулирования давления воздуха в герметической кабине воздушного судна и результаты исследования ее характеристик.*

***Ключевые слова:** система регулирования давления воздуха, герметическая кабина, перепад давления.*

## Введение

Выполнение полетов и обеспечение их безопасности непосредственно зависит от функционального и физиологического состояния летчика. Модернизация существующих и разработка новых воздушных судов (ВС) поколений существенно расширили диапазон высот и скоростей их эксплуатации, что привело к нарастанию сложности и напряженности летной деятельности, обусловленных интенсивным изменением вертикальной скорости и возрастанием опасности разгерметизации герметической кабины (ГК) в особых условиях [1]. Разработка и внедрение авиадвигателей нового поколения, обеспечивающих большие скорости полета в бесфорсажном режиме, предопределяет перевод большинства высотных крейсерских полетов в стратосферные. При выполнении таких полетов экипаж обязан либо применять индивидуальное высотное снаряжение для дыхания под избыточным давлением, в режиме постоянной готовности к защите от декомпрессионных воздействий предельно-переносимого уровня, или использовать принципиально новые бортовые системы регулирования безопасного режима давления в кабине.

В настоящее время для снижения влияния на членов экипажа неблагоприятных факторов высотного полета используется ГК с автоматическим регулированием давления, обеспечивающим заданный перепад между давлением в ГК и атмосферой в зависимости от высоты полета, а также защитное снаряжение летчика [2].

Анализ существующих систем автоматического регулирования давления (САРД) и систем кондиционирования воздуха (СКВ) показывает, что на критических режимах работы при интенсивном маневрировании в вертикальной плоскости, не выполняется программа регулирования давления в ГК, обеспечивающая наибольшую эффективность защиты летчика, а применение высокорасходных регуляторов приводит к забросам давления [2,3].

Применяемые системы автоматического регулирования давления (САРД) воздуха в ГК не обеспечивают выполнение программы регулирования давления при критических режимах работы во время полета [2].

Анализ существующего научно-методического аппарата показывает, что он не обеспечивает оценку точности регулирования давления при интенсивном маневрировании в вертикальной плоскости с учетом ограничений накладываемых на скорость изменения давления и не позволяет оценить возможности компенсации падения давления за счет управления подачей воздуха [3].

Для исследования возможностей существующих, а также перспективных и проектируемых САРД в ГК предлагается применять среду моделирование Simulink. Ее использование позволяет с высокой точностью моделировать процесс регулирования давления воздуха в ГК, оценивать работу системы при критических режимах работы, а также провести эксперименты по имитации разгерметизации кабины при различных режимах работы САРД в различных условиях.

## **1. Разработка модели системы автоматического регулирования давления воздуха**

В концепции создания истребителя пятого поколения особое внимание уделяется его сверхманевренным свойствам, позволяющим завоевать превосходство в воздухе в ближнем маневренном бою и эффективно использовать противоракетные маневры. Выполнение маневров истребителем сопровождается изменением высоты полета и, как следствие, изменением давления воздуха в ГК [2]. Изменение давления в ГК является одним из неблагоприятных факторов, оказывающих негативное воздействие на состояние экипажа. Для его защиты и жизнеобеспечения применяются САРД, основанные на поддержании давления в требуемых пределах за счет наддува атмосферного воздуха от компрессора авиадвигателя и сброса избыточного количества воздуха в атмосферу. Регулирование давления осуществляется изменением проходного сечения регулятора давления и регулятора подачи в соответствии с изменением высоты полета и скоростью ее изменения. Но, проведенная оценка технических

возможностей САРД ГК в условиях боевого маневрирования показала [3], что тактико-технические характеристики современных самолётов достигли величин, при которых параметры работы систем обеспечения жизнедеятельности выходят за пределы нормальной эксплуатации, смысл которой состоит в поддержании физиологических параметров организма лётчика и комфортных условий работы. В частности, существующие САРД, реализующие изменение давления в соответствии с законом регулирования, при быстром наборе высоты или спуске также быстро изменяют давление в ГК, что негативно сказывается на состоянии экипажа. В результате воздействия резкого изменения давления у лётчиков возникают болевые ощущения в слуховых органах, дискомфорт и другие, негативно влияющие на качество деятельности факторы.

При разработке таких систем не предусмотрен режим работы при многократном разнонаправленном изменении давления. Таким образом, человек, находящийся внутри ГК, в случае маневрирования, никак не защищен от перепада давления без специальных защитных средств (например, герметического скафандра). В свою очередь, наличие дополнительных защитных средств, приводит к ограничению возможностей человека, к сковыванию его движений и дополнительный массы на теле.

Тем самым не обеспечивается надежная защита членов экипажа от неблагоприятных факторов высотного полета.

На всех современных типах ВС давление в ГК поддерживается на нормальном уровне с помощью системы автоматического регулирования давления (САРД). Согласно медико-техническим требованиям, предъявляемым к САРД, скорость изменения давления в ГК при подъёме на высоту не должна превышать 5 мм рт.ст./с (666,66 Па/с), а при спуске 10 мм рт.ст./с (1333,32 Па/с).

Для создания модели применяется среда моделирования Simulink. В ней реализовано движение ВС во время полета, а также изменение давления воздуха в ГК ВС в соответствии с выполняемым маневром.

На рисунке 1 представлена модель полного пространственного движения самолета, дополненная блоками, имитирующими процесс изменения атмосферного давления и, в соответствии с этим, изменение давления воздуха в ГК.

Верхний уровень данной модели содержит набор отдельных блоков, например, блок динамики самолета с системой управления, блок приема сигналов от лётчика, блок посылки сигналов в систему визуализации и другие. Как можно видеть, блоки содержат большое количество входных и выходных сигналов, однако пересечения линий

сигналов в модели практически отсутствуют. В названиях входных и выходных сигналов блоков указаны единицы измерения (метры, градусы, проценты).

Все это способствует тому, что вся модель обладает понятной структурой и легко читаемым интерфейсом. Поскольку все основные блоки являются независимыми, их можно быстро и легко редактировать и заменять, не затрагивая остальные.

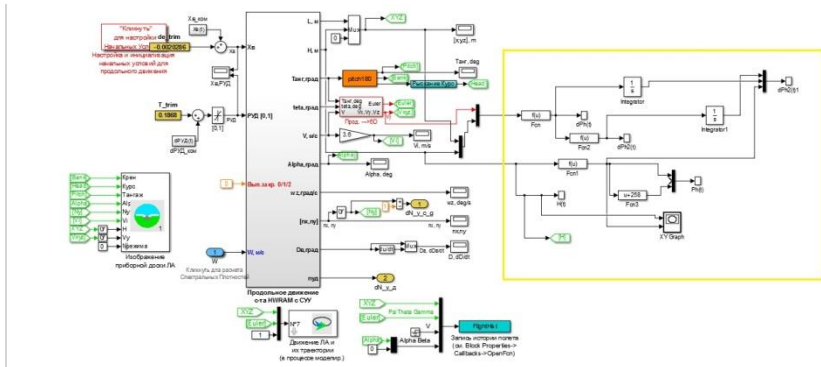


Рис. 1. Модель самолета с системой регулирования давления воздуха

## 2. Эксперименты по имитации разгерметизации герметической кабины

При моделировании площадь отверстия была выбрана 0,0016 м<sup>2</sup>. Результаты вычислений представлены на графиках рисунков 2÷4. Для объема 3 м<sup>3</sup>: высота 20 км, высота 15 км, высота 10 км.

Рассматривались следующие режимы работы САРД:

без компенсации (без подачи газа компенсирующего падение давления кабине);

с компенсацией давления соответствующему закону изменения  $P_k = \text{const}$ ;

с компенсацией давления  $P_k = 145$  мм рт. ст. соответствующему высоте 12 км;

с компенсацией давления соответствующему безопасному коэффициенту перенасыщения;

с компенсацией давления  $P_k = 433,15$  мм рт. ст. соответствующему высоте 4,5 км.

Безопасные коэффициенты перенасыщения составляли для высот 20, 15, 10 км соответственно 1,3, 1,4, 1,5. При высоте 20 км режим

компенсации давления  $P_k = 433,15$  мм рт. ст. соответствующий высоте 4,5 км не рассматривался, так как это этого давление 433,15 мм рт. ст. в кабине поддерживалось в соответствии с законом регулирования. При высоте 10 км компенсацию давления 145 мм рт. ст. также не рассматривали, так как уровень безопасного давления оказался выше данного давления.

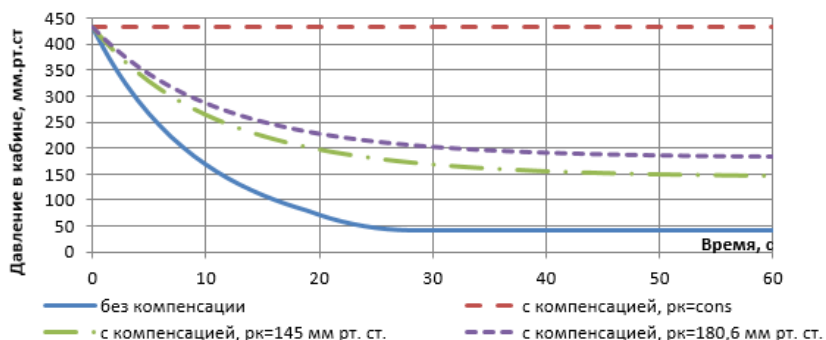


Рис. 2. Динамика давления в кабине при  $V_k=3$  м3,  $H=20$  км

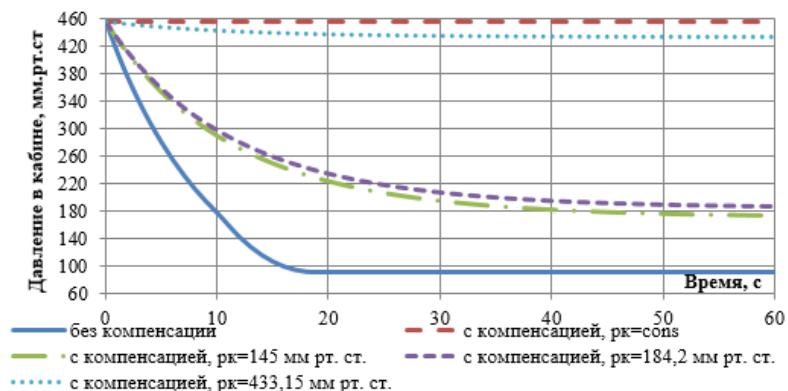


Рис. 3. Динамика давления в кабине при  $V_k=3$  м3,  $H=15$  км

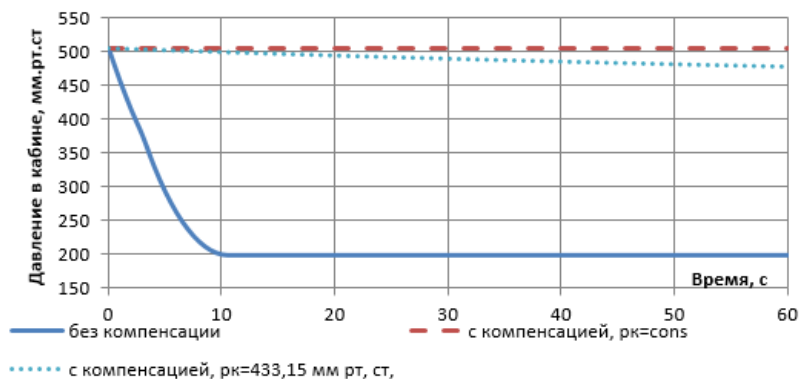


Рис. 4. Динамика давления в кабине при  $V_k=3$  м3,  $H=20$  км

Полученные расчетные кривые качественно соответствуют реальным процессам.

### Заключение

На основе существующих подходов к моделированию разгерметизации сформирована имитационная модель, позволяющая оценить влияние разгерметизации на параметры функционирования САРД. Проведены вычислительные эксперименты по имитации разгерметизации кабины на различных высотах полета.

Разработанная имитационная модель может стать основой для методического и алгоритмического обеспечения САРД ГК ВС, повышающих защиту летчика от неблагоприятных факторов высотного полета на критических режимах работы.

### Литература

1. Акопов, М. Г. Системы оборудования летательных аппаратов / М.Г. Акопов, В.И. Бекасов, В.Г. Долгушев – 3-е издание., исправл. и доп. М.: Машиностроение. 2005 -558 с.
2. Кучевский, С.В. Способ оптимизации регулирования давления воздуха в герметической кабине воздушного судна / С.В. Кучевский, А.В. Гервальд, В.В. Онуфриенко, Ю.П. Титов // Труды МАИ. Выпуск – 2017. – № 92. – С. 1-18.
3. Кучевский, С.В. Метод прогнозного регулирования давления воздуха в герметическом объеме / С.В. Кучевский, В.В. Онуфриенко // Наукоёмкие технологии. – 2016. – № 4. –Т. 17. С. 20-28.