

УДК 611.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ДЫХАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ АППАРАТА ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Куприянов Н.И., Слижёва А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Камлач П.В. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены методы искусственной вентиляции лёгких. С использованием средства для автоматизированного проектирования SolidWorks и его инструмента Flow Simulation был промоделирован дыхательный контур аппарата ИВЛ.

Ключевые слова: ИВЛ, аппараты ИВЛ, дыхательный контур аппарата ИВЛ, моделирование дыхательного контура аппарата ИВЛ.

Введение. Важной и необходимой частью аппарата искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) является дыхательный контур. Для проверки работоспособности дыхательного контура аппарата ИВЛ, его необходимо промоделировать.

Основная часть. В основе ИВЛ лежит уравнение движения, согласно которому величина давления, которое требуется для раздувания лёгких, зависит от сопротивления, растяжимости, дыхательного объема и инспираторного потока [1].

Физические принципы, лежащие в основе искусственной вентиляции лёгких, позволяют определить ее как совершение работы по перемещению газа из контура респиратора в лёгкие пациента, а респиратор – как устройство, совершающее эту работу за счет энергии внешних источников [2].

Существуют два принципа респираторной поддержки. Первый – это полная замена (протезирование) функции грудной клетки и ее мышц, или как ее называют «дыхательного насоса», обеспечивающего поступление газа в лёгкие. Второй – это помощь, поддержка акта вдоха или частичная замена функции инспираторных мышц [3].

Моделирование дыхательного контура аппарата ИВЛ является важной частью при проектировании аппарата ИВЛ.

Программным обеспечением для моделирования было выбрано средство для автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks, а именно его модуль Flow Simulation. SolidWorks Flow Simulation – это мощное решение вычисления гидродинамики, полностью встроенное в SolidWorks. Оно позволяет быстро и просто моделировать эффекты потока, теплообмена и гидродинамических сил, которые критически важны для успешного проектирования [4].

Для того, чтобы создать различные условия для моделирования и сравнения результатов необходимо разработать ещё несколько трубок. Рассмотрим ситуацию, когда трубку сжимают, для этого были разработаны трубки с другими радиусами изгибов, для этого в эскизе трубки изменялся радиус дуги и перемещались линии. В нормальном состоянии радиус изгиба составляет 75 мм. Далее трубку согнули так, что радиус изгиба составил 9,48 мм. Затем радиус изгиба составил 1,85 мм.

Далее во Flow Simulation зададим граничные условия – это давление окружающей среды на входе маски и объемный расход на входе трубки. Давление окружающей среды будет постоянным – 101325 Па, а объемный расход на входе будем изменять. Обычно при ИВЛ скорость потока задается равной 60 л/мин, значит объемный расход на входе будет равен 0,001 м³/с. Для полноты результатов возьмём ещё несколько скоростей потока – 30 л/мин, объемный расход на входе будет равен 0,0005 м³/с, и 120 л/мин, объемный расход на входе будет равен 0,002 м³/с.

Результаты моделирования скорости, когда трубка находится в нормальном состоянии, т.е. радиус изгиба составляет 75 мм, и заданная скорость потока равна 60 л/мин, изображены на рисунке 1.

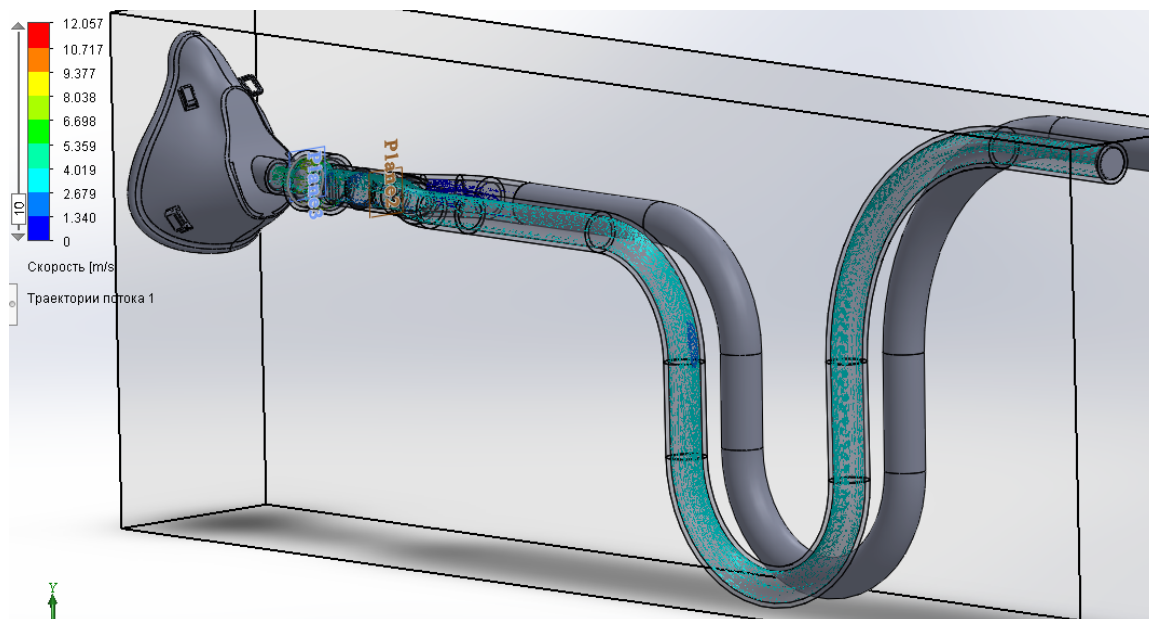


Рисунок 1 – Результаты моделирования скорости с радиусом изгиба 75 мм

Результаты моделирования скорости, когда радиус изгиба составляет 1,85 мм., и заданная скорость потока равна 60 л/мин, изображены на рисунке 2.

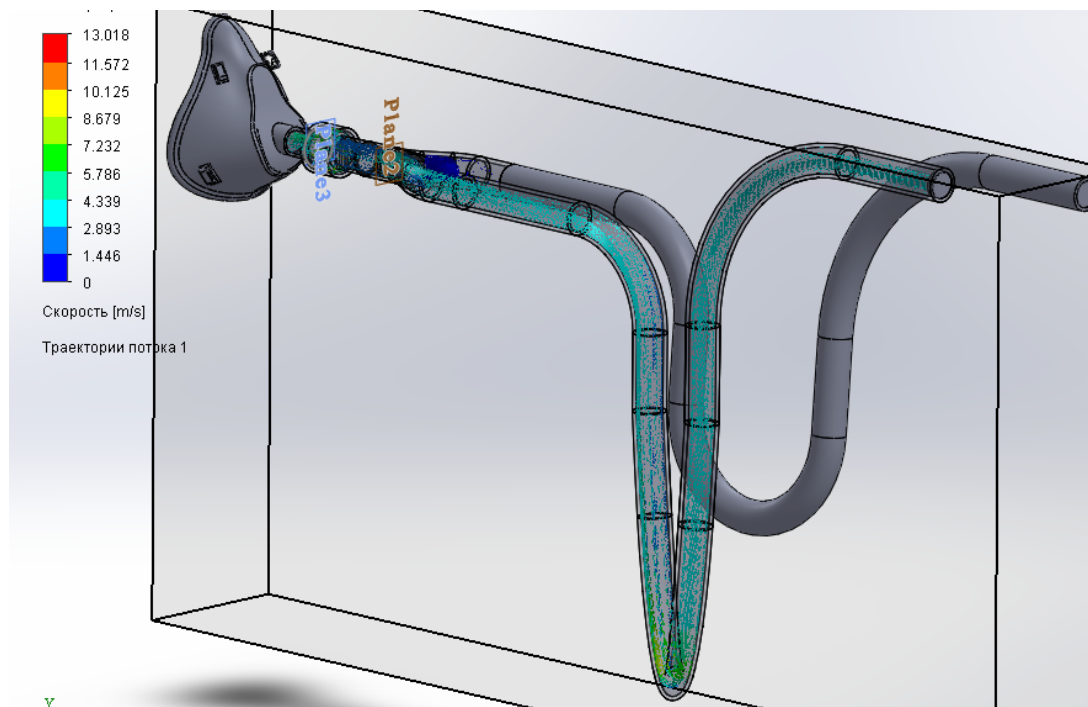


Рисунок 2 – Результаты моделирования скорости с радиусом изгиба 1,85 мм

Занесем результаты моделирования скорости в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования скорости при изгибе трубки

Заданная скорость потока, л/мин	Трубку согнули – 1,85 мм	Трубку согнули – 9,48 мм	Трубку согнули – 75 мм
30	4,349 м/с	2,968 м/с	2,029 м/с
60	8,679 м/с	5,827 м/с	4,019 м/с
120	14,628 м/с	11,041 м/с	10,944 м/с

По результатам моделирования скорости построим график зависимости скорости потока от изгиба, изображен на рисунке 3.

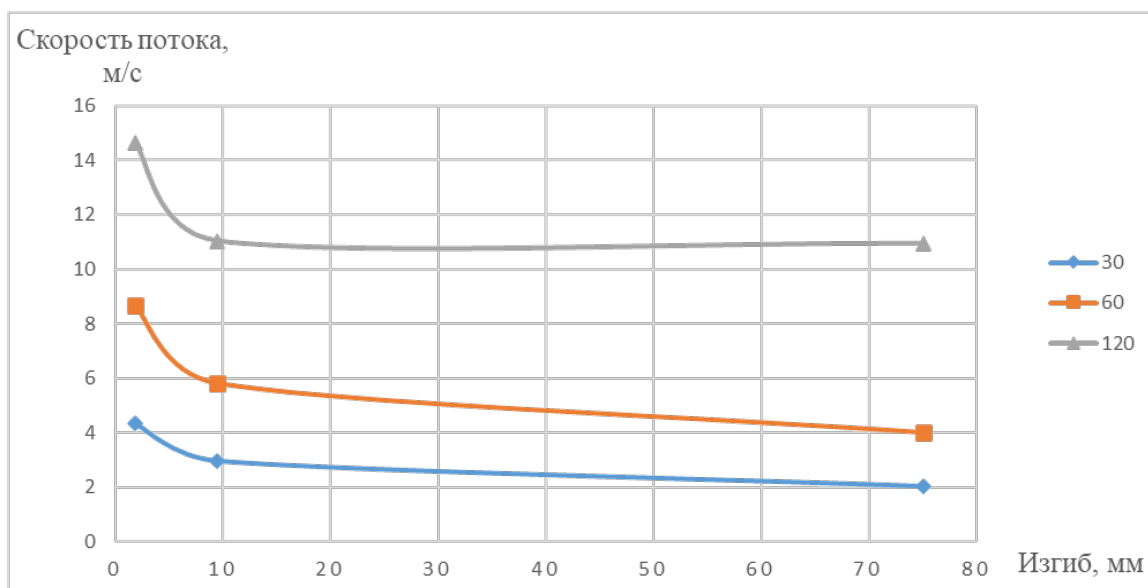


Рисунок 3 – График зависимости скорости потока от изгиба

По графику зависимости скорости потока от изгиба можно сделать вывод, что чем больше изгиб трубки, тем меньше будет диаметр трубки, и, следовательно, больше скорость потока на данном промежутке.

Рассчитаем избыточное давление по формуле:

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{тр}} - P_{\text{окр}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{изб}}$ – избыточное давление;

$P_{\text{тр}}$ – давление в трубке, полученные в результате моделирования;

$P_{\text{окр}}$ – давление окружающей среды (101325 Па).

Занесем результаты в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования давления при изгибе трубки

Заданная скорость потока, л/мин	Трубку согнули – 1,85 мм	Трубку согнули – 9,48 мм	Трубку согнули – 75 мм
30	61,20 Па	65,32 Па	74,37 Па
60	228,26 Па	236,01 Па	283,30 Па
120	895,79 Па	915,65 Па	1108,57 Па

По результатам моделирования давления построим график зависимости давления от изгиба, изображен на рисунке 4.

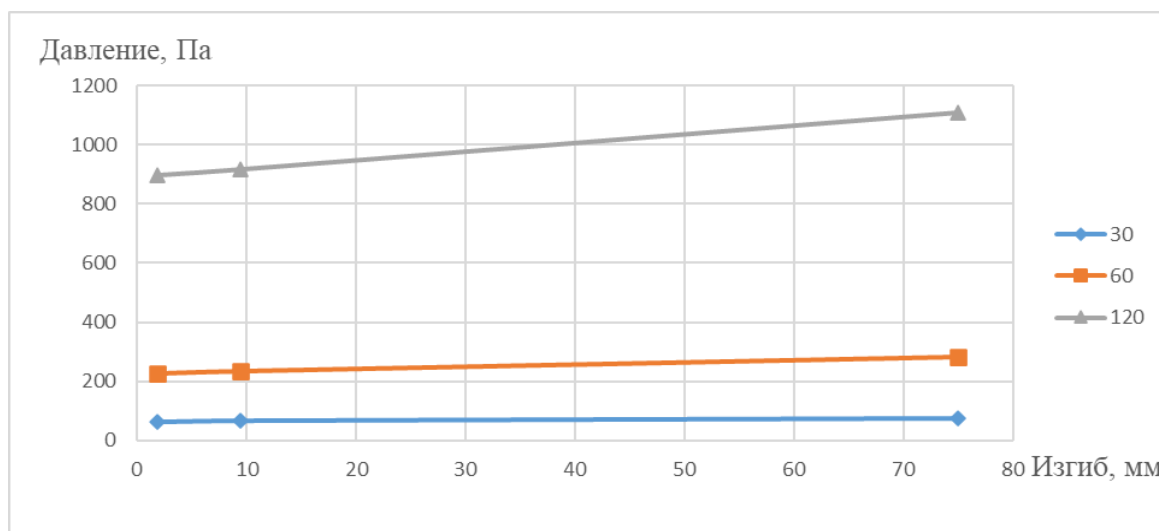


Рисунок 4 – График зависимости давления потока от изгиба

По графику зависимости давления от изгиба можно сделать вывод, что чем меньше радиус изгиба трубки, тем меньше давление.

Заключение. В данной работе с использованием САПР SolidWorks и его инструмента Flow Simulation был промоделирован дыхательный контур аппарата ИВЛ. По результатам моделирования можно сделать вывод, что чем больше изгиб трубки, тем меньше будет диаметр трубки, и, следовательно, больше скорость потока, а давление меньше на данном промежутке.

Список литературы

1. Методы искусственной вентиляции легких [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://extremed.ru/skorpom/24-dogospital/594-2010-11-18-11-10-52>. – Дата доступа: 20.03.2023.
2. Шурыгин, И.А. Искусственная вентиляция легких как медицинская технология / И.А. Шурыгин. – Москва : БИНОМ, 2020. – 630 с.
3. Кассиль, В.Л. Искусственная и вспомогательная вентиляция легких / В.Л. Кассиль, М.А. Выжигина, Г.С. Лескин. – Москва : Медицина, 2004. – 480 с.
4. CFD система SolidWorks Flow Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cad-is.ru/catalog-item/solidworks-flow-simulation>. – Дата доступа: 20.03.2023.

UDC 611.24

SIMULATION OF THE FLOW OF A GAS MIXTURE IN THE RESPIRATORY CIRCUIT OF THE MEDICAL VENTILATOR

Kupryianau M.I., Slizhova A.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach P.V. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ETT

Annotation. Methods of artificial lung ventilation are considered. Using the SolidWorks CAD tool and its Flow Simulation tool, a ventilator respiratory circuit was simulated.

Keywords: artificial lung ventilation, ventilators, breathing circuit of the ventilator, modeling of the respiratory circuit of the ventilator.