

Библиографический список

1. Банах В.А., Запругаев В.И., Кавун И.Н., Сазанович В.М., Цык Р.П. Экспериментальные исследования дисперсии и спектров флуктуаций интенсивности лазерного пучка, пересекающего сверхзвуковой поток газа. // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. №5. С.408-412.
2. Банах В.А., Запругаев В.И., Кавун И.Н., Сухарев А.А., Цык Р.П. Экспериментальные исследования акустических волн, возбуждаемых сверхзвуковой струей. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. №12. С. 1050-1055.

Волновые течения жидкости в вязкоупругих трубках. Теория и приложение к течению крови в артериальных руслах

В.А. Бабенко¹, Н.Н. Кизилова², В.Ф. Клепиков³,
В.М. Попов⁴

¹Институт тепло-и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ

²Харьковский национальный университет

³Институт электрофизики и радиационных технологий НАНУ

⁴Институт физики НАНБ

Исследование стационарных и волновых течений жидкости в податливых трубках представляет большой интерес для различных биомедицинских (аппараты экстракорпорального кровообращения), технических (тепломассообменники, оксигенаторы) устройств, а также при изучении системы кровообращения. Средняя скорость $U(t)$, давление $P(t)$ и осцилляции диаметра $d(t)$ артерий, вызванные распространением и отражением пульсовых волн, могут быть измерены неинвазивно и исследованы в диагностических целях. Помимо контурного, спектрального, корреляционного и вейвлет-анализа кривых $U(t)$, $P(t)$, $d(t)$, в последнее время были предложены несколько новых перспективных методов, допускающих ясную интерпретацию механических процессов, связанных с протеканием крови и распространением волн в норме и при сердечно-сосудистых патологиях [1]. Анализ кривых $U(P)$ или $U(d)$, разложение волн давления и скорости на падающую и отраженную компоненты

$P(t) = P^+(t) + P^-(t)$, $U(t) = U^+(t) - U^-(t)$, анализ интенсивностей падающей и отраженной волн $I^\pm = \int dp^+ du^+$ позволяют получить важную информацию о локализации и типе патологии. Для интерпретации

показателей регистрируемых кривых используются различные математические модели [1]. Важнейшей нелинейной моделью является обобщение системы уравнений Эйлера, предложенной им для описания течения крови по сосудам:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(SU) = -q, \quad \rho \left(\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + F(S, U),$$

$$P(t, x) = P_e + G(S, x), \quad (1)$$

где ρ - плотность жидкости, $F(S, U)$ - сила сопротивления, связанная с трением и отклонением профиля скорости от плоского, $G(S, x)$ описывает свойства стенки сосуда, P_e - внешнее давление.

Решение задачи (1) для различных функций $F(S, U)$ и $G(S, x)$, соответствующих данным экспериментов, может быть получено с помощью метода характеристик [2] или разностных схем, применяемых для интегрирования уравнений гидродинамики. В последнем случае задача (1) сводится к нелинейной системе алгебраических уравнений, эффективным способом решения которой является метод Ньютона [3]. В данной работе приведены результаты решения задачи для разных значений длины, радиуса, толщины и свойств стенки сосуда, вязкости крови, параметров входной волны $P^+(t)$ и условий истечения крови на выходе из трубки в нижележащие сосуды, внутриорганные или внутримышечное сосудистое русло.

В ходе численных расчетов были получены распределения поля скоростей $U(t, x)$, давлений $P(t, x)$ и колебания диаметра сосуда $d(t, x) = \sqrt{4S(t, x)/\pi}$. В качестве иллюстрации характерные результаты расчетов приведены на рис. 1.

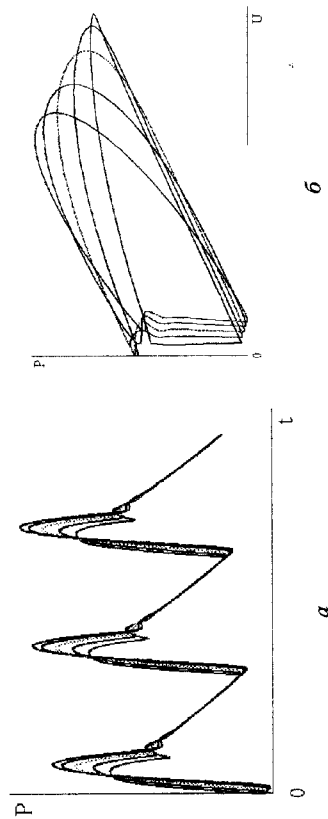


Рис. 1. Зависимости $P(t)$ (а) и $P(x)$ (б) на разных расстояниях вдоль оси сосуда

На основе численных расчетов проанализировано влияние отдельных параметров системы на пульсовые кривые, проведено сравнение с результатами реографических и УЗ-измерений, выявлены новые показатели, важные для диагностики.

Библиографический список

1. Кизилова Н.Н. Новые направления и перспективы теории пульсовых волн в артериях. // Современные проблемы биомеханики. - М.: Изд-во Московского университета. - 2006. - Вып. 11. - С. 44-63.
2. Sherwin S.J., Franke F., Piore J., Parker K.H. One-dimensional modelling of a vascular network in space-time variables. // J. Eng. Math. - 2003. - v. 47. - P. 217-250.
3. Бабенко В.А., Попов В.М. Гидродинамическая модель движения крови по системе сосудов. // Тепло-и массообмен. Сб. науч. тр. - Минск. - 2009. - с. 303-307.

Газодинамика регулятора расхода игольчатого типа

Б.Я. Бендерский, П.Н. Саушин

Ижевский государственный технический университет

Течение газа в регуляторах расхода с характерно пространственной структурой, высокими температурами, давлением, наличием к-фазы. Экспериментально пространственная структура течения газа исследуется при помощи проволочек на холодном воздухе, а тепловые эффекты рассматриваются на модельных энергетических установках [1]. Работы по исследованию газодинамики регуляторов расхода методами математического моделирования практически отсутствуют. В работе рассматриваются аспекты математического моделирования газодинамики регуляторов расхода.

Для моделирования течения газа в регуляторах расхода выбрана схема регулятора - регулятор игольчатого типа (рисунок 1).

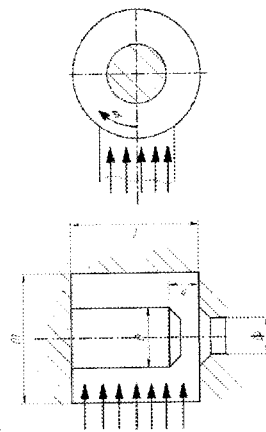


Рис. 1. Схема регулятора расхода игольчатого типа

Численное моделирование течения газа проводилось на основе решения пространственных уравнений для вязкого теплопроводного газа. За основу брались уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу. Система уравнений замыкалась к-ε моделью турбулентности. Решалась сопряженная задача теплообмена. Данные алгоритмы реализованы в лицензионном программном комплексе ANSYS CFX 11.

Для описания задачи в качестве граничных ставились следующие условия: на входе в регулятор задавались давление, температура интенсивность турбулентности, на выходе - условия окружающей среды, на внешних стенках корпуса задавался коэффициент теплообмена с окружающей средой.

В результате решения задачи о течении газа в клапане регулятора игольчатого типа структура потока вблизи крышки качественно совпадает с полученной в результате экспериментов [1] (рисунки 2 (а, б)). Картина течения около нижней крышки отличается. При расчете выявляется одна вихревая структура в продольном сечении, тогда как в эксперименте две. Различия объясняются различным положением иглы и возможной нестационарностью процесса в эксперименте (рисунки 2 (в, г)).

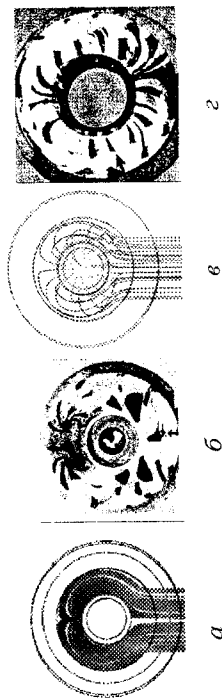


Рис. 2. Картина течения газа рядом с крышковой регулятора расхода: а) расчет - верхняя крышка б) эксперимент - верхняя крышка (стрелкой указано направление вдува) в) расчет - нижняя крышка г) эксперимент - нижняя крышка (стрелкой указано направление вдува)

Полученные распределения коэффициента теплообмена на поверхности иглы согласуются с данными эксперимента [1], область максимального коэффициента теплоотдачи также находится в районе угла $\alpha = 50^\circ$, несогласование графиков в лобовой точке и углов $\phi = 80-180^\circ$ объясняется выпадением в ходе эксперимента конденсированной фазы на поверхность иглы (рисунок 3).

В заключении отметим, что использование программных средств математического моделирования для проведения газодинамических расчетов позволяет получить данные о характере и особенностях течения газа в регуляторах расхода.



**Исаак Павлович Гинзбург
(1910 – 1979)**

СТРУЙНЫЕ, ОТРЫВНЫЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

**XXXII ЮБИЛЕЙНЫЙ СЕМИНАР
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ**

**22-25 июня 2010 г.
Санкт-Петербург**

Тезисы докладов

**Санкт-Петербург
2010**

Струйные, отрывные и нестационарные течения:
XXII юбилейный семинар с международным участием. 22-25 июня 2010 г. Санкт-Петербург: тезисы докладов / Балт. гос. техн. ун-т, СПбГУ. – СПб., 2010. – 345 с.

ISBN 978-5-85546-533-4

Всероссийский (с 2000 г. – с международным участием) семинар по газовым струям, основанный в 1957 г. профессором И.П. Гинзбургом, посвящен обсуждению современного состояния теоретических, численных и экспериментальных исследований в области механики струйных течений жидкости, газа и плазмы.

В сборник включены научные работы, отражающие современные отечественные и зарубежные достижения в механике струйных, отрывных и нестационарных течений жидкости, газа и плазмы, а также в некоторых смежных областях.

УДК 519.6 + 517.958 + 533.6

Редакционная коллегия: *С.К. Матвеев, Е.А. Нагибеда,
В.Н. Усков, Ю.М. Циркунов*

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского
фонда фундаментальных исследований
(проект 10-06 808 МОБ «Г»)

ISBN 978-5-85546-533-4

© Авторы, 2010

Организационный комитет семинара

Сопредседатели:

В.Н. Усков, С.К. Матвеев (Санкт-Петербург).

Члены оргкомитета:

акад. РАН Ф.Г. Рутберг (Санкт-Петербург), акад. РАН В.М. Фомин (Новосибирск), чл.-корр. РАН Г.А. Леонов (Санкт-Петербург), Г.А. Акимов, В.И. Балобан, А.С. Борейшо, Ю.В. Загашвили, В.Н. Емельянов, К.М. Иванов, Е.В. Кустова, В.В. Лобачев, М.Г. Моисеев, Е.А. Нагибеда, А.А. Родионов, М.А. Рыдалевская, А.Н. Рябинин, М.В. Сильников, О.А. Толтегин, В.А. Цибаров, Ю.М. Циркунов (Санкт-Петербург), Ю.Н. Нестеров (Москва), В.И. Запругаев (Новосибирск), Ю.М. Рудов (Севастополь).

Секретариат:

Ю.Н. Ворошилова (председатель), И.В. Курова (ученый секретарь), Л.П. Архипова, А.Г. Карпенко, П.С. Мостовых, Е.Н. Никулин, Е.А. Никуличева, О.К. Овчинникова, Л.А. Пузырева, И.В. Шаталов, М.В. Чернышов, М.С. Яковчук (Санкт-Петербург)

Организаторы семинара

Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Санкт-Петербургский государственный университет
Институт теоретической и прикладной механики СО РАН
Министерство образования и науки РФ
РФФИ (Российский фонд фундаментальных исследований)
НОУ «Санкт-Петербургский институт экономики и бизнеса»

XXII

ЮБИЛЕЙНЫЙ СЕМИНАР
СМЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ



СТРУЙНЫЕ, ОТРЫВНЫЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Санкт-Петербург
2010