

**УДК 519.6: 532.5**

**ПРОСТЕЙШАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ  
ФИБРИНА В АНЕВРИЗМАХ КРОВЕНОСНЫХ КАПИЛЛЯРОВ**

**Н.К. Волосова (аспирант Московского государственного технического  
университета МГТУ им. Н.Э. Баумана);**

**М.А. Басараб (профессор, д.ф. - м.н. Московского государственного  
технического университета МГТУ им. Н.Э. Баумана);**

**К.А. Волосов, профессор, д.ф. - м.н., А.К. Волосова, к.ф.- м.н. (МИИТ) г.  
Москва;**

**к. ф.-м. н., доц. Д.Ф. Пастухов, к. ф.-м. н., доц. Ю.Ф. Пастухов  
(Полоцкий государственный университет)**

**Аннотация:** В работе с использованием простейшей математической модели численно решается задача образования фибринов в аневризме капилляра диаметром 5-30 мкм. Симметрия модели позволяет решать задачу численно на её половине. Решение показывает, что в аневризмах кровеносных капилляров диаметром 5мкм образуется фибриновая пленка, отделяющая центральную проточную область аневризмы от пристеночной области, в которой длительно циркулирует кровь. Фибриновая пленка является как бы продолжением кровеносного капилляра и сглаживает резкое изменение его диаметра в области аневризмы.

**Ключевые слова:** уравнения в частных производных, математическое моделирование, уравнения Навье-Стокса, гидродинамика, ламинарное течение

**THE SIMPLEST MATHEMATICAL MODEL OF FIBRIN FORMATION IN  
ANEURYSMS OF CAPILLARIES**

N.K. Volosova, M.A. Basarab, K.A. Volosov, A.K. Volosova,

D.F. Pastuhov, YU.F. Pastuhov

**Abstract:** In this work, using the simplest mathematical model, the problem of fibrin formation in a capillary aneurysm with a diameter of 5-30 microns is numerically solved. The symmetry in the model allows solving the problem numerically in its half. The solutions shows that a fibrin is formed in aneurysms of capillaries with a diameter of 5 microns, separating the central flow area of the

*aneurysm from the parietal area, in which blood circulates for a long time. The fibrin films is, as it were, a continuation of the capillary and smooths out its sharp change in its diameter in the area of the aneurysm.*

*Keywords: partial differential equations, mathematical modeling, Navies-Stokes equations, hydrodynamics, laminar flow.*

**Введение.** Математические модели образование тромба анализировали авторы А.И. Лобанов[1,3], К.А. Волосов[6],Ф.И. Атауллаханов[3,5], В. Ф. Зайцев[7] . В данной работе мы исследуем возможность образования тромбина в области аневризмы кровеносных капилляров диаметром 5 -30 мкм. Ф.И. Атауллаханов, исследуя причины заболевания COVID-19 в больницах Санкт-Петербурга, отмечает, что в легких образуются тромбы и сгустки крови даже на капиллярном масштабе.

**Постановка задачи.** Данная работа написана для Российской научной библиотеки. Полный текст работы можно найти в электронной научной Российской библиотеке elibrary.ru, в которой статье присвоен номер eLIBRARY ID: 47250050 .

## Литература

1. Лобанов А.И., Куриленко И.А., Украинец А.В. Автоволновые решения и диссипативные структуры в двух математических моделях динамики свертывания крови//ТРУДЫ МФТИ. – 2009.- Том 1. №4.
2. Волосова Н.К., Басараб М.А., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф. Обобщенная модель открытой каверны для аневризмы кровеносных сосудов// Евразийское Научное Объединение. – 2021. № 8-1 (78). С. 34-38.
3. А.И. Лобанов, Т.К. Сторожилова, В.И. Зарницина, Ф.И. Атауллаханов Сравнение двух математических моделей для описания пространственной динамики процесса свертывания крови//Математическое моделирование, 2003, том 15, номер 1,14-28.
4. Фомин А.А., Фомина Л.Н. Численное моделирование течения жидкости в плоской каверне при больших числах Рейнольдса//Вычислительная механика сплошных сред.2014.Т.7.№4.С 363-377.
5. Атауллаханов Ф.И., Гурия Г.Т. Сорочкина А.Ю. Пространственные аспекты динамики свёртывания крови. Феноменологическая модель.

6. Волосов К.А., Вдовина Е.К., Пугина Л.В. Моделирование «пульсирующих» режимов динамики свёртывания крови. Математическое моделирование. 2014, т 26, н.12 , с. 14–32 .
7. Полянин А.Д., Зайцев В. Ф., Журов А.И. Нелинейные уравнения математической физики и механики. Методы решения. Учебник и практикум//Москва,2020. Сер. 76. Высшее образование(2-ое изд. испр. и доп.)
8. Волосова Н.К. Нестационарная гидродинамическая задача в открытой прямоугольной каверне// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 3-1 (73). С. 16-21.
9. Волосова Н.К., Басараб М.А., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф. О роли профиля скорости на верхнем отрезке в гидродинамической задаче для прямоугольной каверны// Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 5-1 (63). С. 11-17.
10. Волосова Н.К. Возможные виды течения в закрытой каверне и противоречия в задаче с подвижной крышкой// Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 12-1 (70). С. 4-14.
11. Волосова Н.К., Басараб М.А., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф. Вычисление поля давления по полю скорости в гидродинамической задаче для прямоугольной каверны// Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 9-1 (67). С. 1-8.
12. Волосова Н.К., Басараб М.А., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф. Модифицированное разностное уравнение К.Н. Волкова для уравнения Пуассона на прямоугольнике с четвертым порядком погрешности// Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 6-1 (52). С. 4-11.
13. Волосова Н.К. О нестационарном уравнении диффузии с полной производной по времени на прямоугольнике// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 1-1 (71). С. 9-14.
14. Волосова Н.К. О решении уравнения Пуассона на прямоугольнике с шестым порядком погрешности за конечное число элементарных операций// Евразийское Научное Объединение. –2020. № 3-1 (61). С. 20-27.
15. Волосова Н.К. О решении уравнения Пуассона на прямоугольнике с четвертым порядком погрешности за конечное число элементарных операций// Евразийское Научное Объединение. –2020. № 2-1 (60). С. 11-17.
16. Волосова Н.К. Конечные методы решения уравнения Пуассона на произвольном прямоугольнике с краевым условием Дирихле// Евразийское Научное Объединение. –2020. № 5-1 (63). С. 17-28.

17. Волосова Н.К. Мягкие краевые условия в гидродинамической задачи для профиля скорости в открытой прямоугольной каверне// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 5-1 (75). С. 9-14.
18. Волосова Н.К., Басараб М.А., Волосова А.К., Зайцев В.Ф. Волосов К.А., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф. Этап конструирования математической модели аневризмы. Течения в каверне и противоречия в задаче в “закрытой” кювете// В сборнике: Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования. Материалы 74-й научной конференции “Герценовские чтения 2021”. Санкт-Петербург, 2021. С. 208-213.
19. П. Роуч. Вычислительная гидродинамика. Мир. Москва. 1980. 597 с.
20. Волосова Н.К., Пастухов Д.Ф., Волосов К.А. Методы расширения области применения методов математической физики//Международная конференция “Квазилинейные уравнения и обратные задачи”. QIPA conference handbook and proceedings. – М.: МФТИ, 2018. – С 20.
21. Волосов К.А., Данилов В.Г., Колобов Н.А., Маслов В.П. Доклады академии наук СССР. 1986. Т.33. С. 517.
22. Danilov V.G., Maslov V.P., Volosov K.A. Mathematical modeling of heat and mass transfer//Originally published in Russian/Dordrecht, 1995.
23. Волосов К.А. Одевание решений для некоторых неинтегрируемых задач и некоторые инвариантные свойства анзаца метода Хироты//Дифференциальные уравнения. 2005. Т 41. № 11. С. 1572-1575.
24. Волосов К.А. О собственных функциях структур, описываемых моделью “мелкой воды” на плоскости// Фундаментальная и прикладная математика. 2006. Т. 12. № 6. С. 17-32.
25. Волосов К.А. Построение решений квазилинейных параболических уравнений в параметрическом виде// Дифференциальные уравнения, 2007, Т.43, №.4., С.492-497.
26. Волосов К.А. Новый метод построения решений уравнений с частными производными в параметрической форме// Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2007. Т.7. № 26. С. 13-20.
27. Волосов К.А. Конструкция решений квазилинейных уравнений с частными производными// Сибирский журнал индустриальной математики 2008, т.11, н.2(34), С. 29-39
28. В.П. Маслов, В.Г. Данилов, К.А. Волосов. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса (эволюция диссипативных структур). С добавлением Н.А. Колобова, - М.:Наука, 1987, 352 с.
29. Вакуленко С.П., Волосова Н.К., Пастухов Д.Ф. Способы передачи QR-кода в стеганографии/ С.П. Вакуленко, Н.К. Волосова, Д.Ф. Пастухов //Мир транспорта. – 2018. Т.16. № 5(78). С. 14-25.

- 30.Пастухов Д.Ф., Волосова Н.К., Волосова А.К. Некоторые методы передачи QR-кода в стеганографии/ Д.Ф. Пастухов, Н.К. Волосова, А.К. Волосова //Мир транспорта. – 2019. Т.17. № 3(82). С. 16-39.
- 31.Волосова Н.К., Басараб М.А., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф. Изучение биологически мотивированной математической модели предстательной железы// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 6-1 (76). С. 6-21.
- 32.Волосова Н.К., Волосов К.А., Волосова А.К., Карлов М.И., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф. Модифицированная формула Ньютона – касательных парабол на комплексной плоскости// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 6-1 (76). С. 21-27.
- 33.Пастухов Ю.Ф., Волосова Н.К., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф., Пастухов А.Ю. Теорема о связи чисел Кармайкла с функцией Кармайкла// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 6-1 (76). С. 50-53.
- 34.Волосова Н.К., Волосов К.А., Волосова А.К., Пастухов Д.Ф., Пастухов Ю.Ф., Сперанская О.А. Геометрический подход для качественного поиска конвективных ячеек по температурному полю// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 6-1 (76). С. 21-27.
- 35.The role of aeration in forming the thermal regime of a geothermal lake. Anisimova E.P.,Pastukhov D.F.,Speranskaya A.A., Speranskaya O.A./Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics.1996. T 32. № 2. C. 268-272.
- 36.Волосова Н.К. Вычисление производных дробного порядка с высокой степенью точности // Евразийское Научное Объединение. – 2020. № 11-1 (69). С. 1-9.
- 37.Волосова Н.К. Вычисление производных дробного порядка, принимающего значения на интервале(0,1), с высокой степенью точности// Евразийское Научное Объединение. –2021. № 2-1 (72). С. 30-37.
- 38.Козлов А.А. Об управлении показателями Ляпунова двумерных линейных систем с локально интегрируемыми коэффициентами./А.А. Козлов//Дифференциальные уравнения.-2008.-Т.44,№10. С.1319-1335.
- 39.Козлов А.А. Об управлении показателями Ляпунова линейных систем в невырожденном случае./А.А. Козлов//Дифференциальные уравнения.- 2007.-Т.43,№5. С.621-627.