

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**ISBN 978-966-610-243-3
ISBN 978-966-610-244-0**

**МАТЕРІАЛИ
II МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«АВІАЦІЯ, ПРОМИСЛОВІСТЬ, СУСПІЛЬСТВО»
(Посвідчення № 391 від 16.09.2020 р.)**

**PROCEEDINGS
II INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
«AVIATION, INDUSTRY, SOCIETY»
(Certificate № 391 dated September 16, 2020)**

Частина 1

12 травня 2021 р.

Кременчук 2021

УДК 62 (33: 34: 37: 61: 65: 80)

А 20

*Рекомендовано до друку оргкомітетом відповідно до доручення
Харківського національного університету внутрішніх справ
№ 55 від 31 березня 2021 року*

Редакційна колегія:

Сокурєнко В. В., ректор ХНУВС, генерал поліції третього рангу, заслужений юрист України, член-кореспондент Національної академії правових наук України, доктор юридичних наук, професор (голова редколегії);

Швець Д. В., перший проректор ХНУВС, полковник поліції, заслужений працівник освіти України, доктор юридичних наук, доцент (заступник голови);

Могілевський Л. В., проректор ХНУВС, заслужений юрист України, доктор юридичних наук, професор (заступник голови);

Шульга В. П., проректор ХНУВС, доктор історичних наук (заступник голови);

Яковлєв Р. П., директор КЛК ХНУВС;

Шмельов Ю. М., заступник директора коледжу з навчально-методичної та наукової роботи КЛК ХНУВС, кандидат технічних наук.

А 20 **Авіація**, промисловість, суспільство : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф., (м. Кременчук, 12 трав. 2021 р.) : у 2 ч. / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ, Кременчуц. льотний коледж. – Харків : ХНУВС, 2021. – Ч. 1. – 576с.

ISBN 978-966-610-243-3

ISBN 978-966-610-244-0

У збірнику розглянуто результати наукових досліджень учених, здобувачів вищої освіти, практиків з питань сучасних тенденцій і перспектив розвитку авіації, промисловості, суспільства в умовах сьогодення.

УДК 62 (33:34:37:61:65:80)

Доповіді друкуються в авторській редакції

Редакція не завжди поділяє думку та погляди авторів. Відповідальність за достовірність фактів, власних імен, назв, цитат, цифр та інших відомостей несуть автори публікацій.

3. Anastasiia Kovalova, Nataliia Shushliapina, Oleg Avrunin, Alexandra Zlepko et al. Possibilities of automated image processing at optical capillaroscopy. Proceedings Volume 11456, Optical Fibers and Their Applications 2020; 114560G (2020) <https://doi.org/10.1117/12.2569772>
4. Щапов П. Ф., Аврунин О. Г. Получение информационной избыточности в системах измерительного контроля и диагностики измерительных объектов. *Український метрологічний журнал*. 2011. No 1. С. 47–50.
5. Nosova, Y. V., Tymkovych, M. Y., Kovalova, A. A., Hankun, J. And Shushliapina, N. O., "Features of medical image processing," proceedings of the XI International Scientific And Practical Conference International Trends In Science And Technology, Warsaw, Poland, 1, 17–19 (2019).
6. Avrunin O. G., Shushlyapina N. O., Nosova Y. V., Surtel W., Burlibay A., Zhassandykyzy M. Method of expression of certain bacterial microflora mucosa olfactory area. Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications. 2015. 98161L (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229074.
7. Avrunin O. G., Tymkovych M. Y., Moskovko S. P., et. al. Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain. *Przegląd Elektrotechniczny*: doi:10.15199/48.2017.05.20. V. 93-5. 2017. P. 102–105.
8. Tymkovych, M., Avrunin, O., Paliy, V., et al., Automated method for structural segmentation of nasal airways based on cone beam computed tomography, Proc. SPIE, 10445, 446-453 (2017).
9. Аврунін О. Г., Бодяньський Є. В., Калашник М. В., Семенець В. В., Філатов В. О. Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики. Харків : ХНУРЕ, 2018. 248 с. doi: 10.30837/978-966-659-234-0
10. Sebastiani A., Philippi L., Boehme S. et al. Perfusion index and plethysmographic variability index in patients with interscalene nerve catheters. *Canadian Journal of Anaesthesiology*. 2012. Vol. 59, № 12. Pp. 1095–1101.

УДК 615.47

Кокорев А. Э., аспирант

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5915-8262>

Аврунин О.Г., д.т.н., профессор

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6312-687X>

**Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, Украина**

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАЖИВЛЕНИЯ РАНЫ НА ПОВЕРХНОСТИ КОЖИ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОЖОГОВ

Проблема ожогов в авиационной медицине является весьма актуальной [1–5]. Так, по данным Healthcare Cost and Utilization Project, несмотря на относительно низкий процент термических повреждений (около 2,5%) от

общего количества повреждений при полетах, смертность от ожогов занимает второе место (13%), уступая лишь повреждением головы [6]. Поэтому детальное понимание процессов, происходящих при заживлении ожогов, является неотъемлемой частью помощи больным, пострадавшим при полетах.

Важным этапом процесса заживления любой раны является ангиогенез. В данной работе рассмотрена модель, предложенная в [7] (с некоторыми изменениями), которая учитывает: плотность кончиков капилляров, концентрацию хемоаттрактанта и плотность кровеносных сосудов. Намечены пути улучшения модели для лучшего согласования с медицинскими данными.

Ангиогенез – процесс роста капилляров в область раны из уже существующей сосудистой сети в здоровой ткани, которая окружает рану [7]. Исследование этого процесса *in vivo* затруднено, поскольку предполагает исследование параметров, с трудом поддающихся измерению (например, скорости роста капилляров, плотности капиллярной сети внутри раны и т.д.)

Поэтому альтернативным методом может являться исследование математических моделей, результаты которого затем могут быть использованы для корректировки процесса лечения [7].

Существуют различные виды математических моделей, применимых к исследованию ангиогенеза. Их можно разделить на дискретные и непрерывные. Непрерывные модели обычно основаны на уравнениях непрерывности определенных величин (концентраций химических веществ, плотностей кровеносных сосудов и т.д.) и имеют вид системы дифференциальных уравнений в частных производных с определенными начальными и граничными условиями [7, 8].

Мы исследуем модель, описанную в работе [7], которая относится к типу непрерывных моделей. В этой модели принимаются во внимание следующие величины: плотность капиллярных кончиков $n(x,t)$, концентрация хемоаттрактанта (вещество, вдоль градиента которого происходит рост новых капилляров) $a(x,t)$ и плотность кровеносных сосудов $b(x,t)$. Геометрия задачи одномерна – рана представлена полосой бесконечной длины и конечной ширины, край раны имеет координату $x=0$, центр – $x=1$ (в условных единицах длины).

Модель состоит из 3-х безразмерных ДУЧП:

$$\begin{aligned} \frac{\partial n}{\partial t} &= \mu_n \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \chi \frac{\partial}{\partial x} \left(n \frac{\partial a}{\partial x} \right) + \lambda_1 a b - \lambda_2 n - \lambda_0 n^2 \\ \frac{\partial a}{\partial t} &= \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} - \frac{\lambda_4}{2} \left(1 + \tanh \left(\frac{1-b}{\delta} \right) \right) - (\lambda_4 + \lambda_5 b) a \\ \frac{\partial b}{\partial t} &= \mu_b \frac{\partial}{\partial x} \left(n \frac{\partial b}{\partial x} \right) - \mu_n \frac{\partial n}{\partial x} + \chi n \frac{\partial a}{\partial x} \end{aligned}$$

с граничными:

$$n(0,t) = \hat{n} e^{-\alpha t}, \quad \frac{\partial a}{\partial x}(0,t) = \lambda_7 a(0,t) \hat{b}, \quad b(0,t) = \hat{b}$$

$$\frac{\partial n}{\partial x}(1,t) = \frac{\partial a}{\partial x}(1,t) = \frac{\partial b}{\partial x}(1,t) = 0, \quad t > 0$$

и начальными условиями:

$$n(x,0) = \begin{cases} \hat{n}, & \text{если } x = 0 \\ 0, & \text{если } x \neq 0 \end{cases}, \quad a(x,0), \quad b(x,0) = \begin{cases} \hat{b}, & \text{если } x = 0 \\ 0, & \text{если } x \neq 0 \end{cases}$$

Значение и смысл констант приведены в [7].

Изменения по сравнению с исходной моделью [7] заключались в упрощении начальных условий: сложные исходные функции $n(x,0)$ и $b(x,0)$ были заменены константами при $x = 0$. При выбранном методе решения эта замена не влияет ни на качественные, ни на количественные результаты, зато позволяет упростить расчеты.

Решение было получено с помощью пакета Wolfram Mathematica, с использованием метода конечных элементов (FEM).

Анализ зависимости функций от времени дает следующие результаты (см. рис. 1). Хемоаттрактант (рис. 1, b), в процессе заживления раны смещается от края раны ($x = 0$) к ее центру ($x = 1$). За ним следуют растущие кончики капилляров (рис. 1, a), концентрация которых максимальна на текущем краю заживающей раны. В уже зажившей области они превращаются в полноценные кровеносные сосуды. Кровеносные сосуды (рис. 1, c) равномерно разрастаются в зажившей части раны. Эти результаты согласуются с медицинскими данными [7] как минимум на качественном уровне, следовательно, данная модель может служить отправной точкой дальнейших исследований.

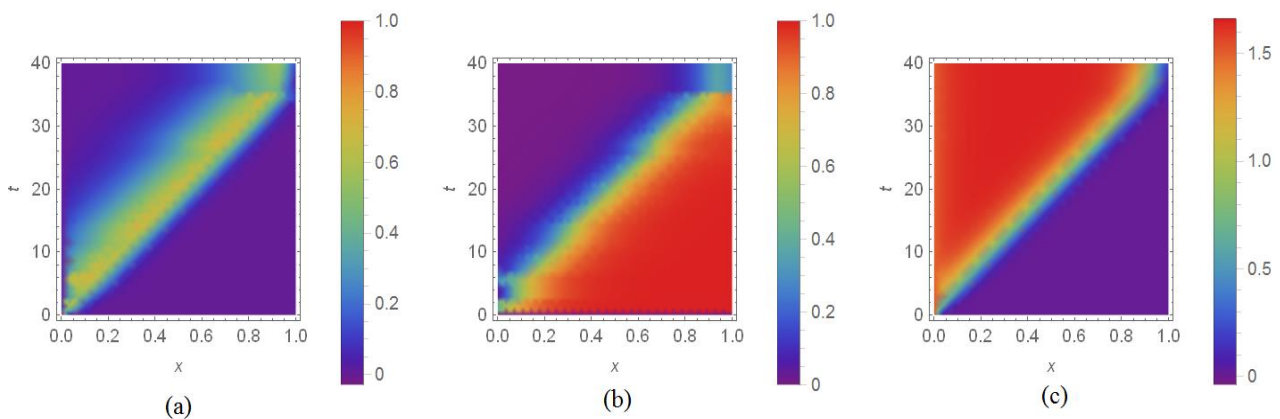


Рисунок 1 – Решение системы ДУЧП (a) $n(x,t)$, (b) $a(x,t)$, (c) $b(x,t)$. По оси x – расстояние от края раны (в условных единицах), по оси y – время

Одним из возможных улучшений является изменение геометрии задачи с одномерной на двух- или трех- мерную, что позволит учесть индивидуальную форму раны каждого конкретного пациента и с большей достоверностью [9, 10] прогнозировать время и условия ее заживления.

Список літератури

1. Кіряк А. О., Кокорев А. Е., Аврунін О. Г. Розробка системи комп'ютерного планування для лікування опіків, що отримані під час авіаційних польотів. *Авіація, промисловість, суспільство* : збірник тез доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, курсантів та студентів. Кременчук, 2019. С. 261–263.
2. Киряк А. А., Кокорев А. Э., Аврунин О. Г. Разработка программного средства для компьютерного планирования при лечении ожогов методом экспандерной дермотензии : матеріали 23 Міжнародного молодіжного форуму. Т. 1. Харків : ХНУРЕ. 2019. С. 169–170.
3. Киряк А. А. и др. Возможности компьютерного планирования при лечении ожогов методом экспандерной дермотензии. *Наука та виробництво* : міжвуз. темат. зб. наук. пр. ДВНЗ «ПДТУ». Вип. 20. Маріуполь, ПДТУ, 2019. С. 150–156.
4. Киряк А. А. и др. Обзор механических и термодинамических моделей кожи человека в контексте пластической хирургии. *Наука та виробництво* : зб. наукових праць. ДВНЗ «ПДТУ». Маріуполь, 2019. Вип. 21. С. 171–177. doi.org/10.31498/2522-9990212019187881. УДК 615.47.
5. Кокорев А. Е., Аврунін О. Г. Основні типи тепловізорів та їх застосування у медичній діагностиці. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч. II. ; за ред. проф. Сокола Є. І. Харків : НТУ «ХПІ». С. 350.
6. Baker S.P., Brady J.E., Shanahan D.F., Li G. Aviation-Related Injury Morbidity and Mortality: Data from U.S. Health Information Systems : *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2009. № 80 (12). Pp. 1001–1005.
7. Pettet G.J., Byrne H.M., McElwaing D.L.S, Norbury J. A Model of Wound-Healing Angiogenesis in Soft Tissue. *Mathematical Biosciences*. 1996. Vol. 136. Pp. 35–63.
8. Flegg J. A., Menon Sh. N., Maini Ph. K., McElwaing D.L.S. On the mathematical modeling of wound healing angiogenesis in skin as a reaction-transport process. *Frontiers in Physiology*. 2015. V. 6. Pp. 1–17.
9. Аврунин О. Г., Семенец В. В., Щапов П.Ф. Сравнение дискриминантных характеристик риноманометрических методов диагностики. *Радіотехніка*. 2011. 164. С. 102–107.
10. Щапов П. Ф., Аврунин О. Г. Получение информационной избыточности в системах измерительного контроля и диагностики измерительных объектов. *Український метрологічний журнал*. 2011. No 1. С. 47–50.