



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118125** (13) **C2**
(51) МПК

A61B 5/08 (2006.01)

A61B 5/087 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

- (21) Номер заявки: **а 2016 13393**
(22) Дата подання заявки: **26.12.2016**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **26.11.2018**
(41) Публікація відомостей про заявку: **10.05.2017, Бюл.№ 9**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **26.11.2018, Бюл.№ 22**

- (72) Винахідник(и):
**Аврунін Олег Григорович (UA),
Носова Яна Віталіївна (UA),
Фарук Хушам Ісмаїл Саєд (UA),
Журавльов Анатолій Семенович (UA),
Шушляпіна Наталія Олегівна (UA),
Калашник Юлія Михайлівна (UA),
Безшапочний Сергій Борисович (UA),
Лобурець Андрій Валерійович (UA)**
- (73) Власник(и):
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ,
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA),
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
пр. Науки, 4, м. Харків, 61022 (UA)**
- (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 92395 C2, 25.10.2010
UA 97779 C2, 12.03.2012
Ивахно Н.В. Математическое моделирование процессов в дыхательной системе человека / Н.В. Ивахно, А.С. Канунникова, С.С. Федоров // Вестник новых медицинских технологий (Электронный журнал). – 2015. – № 2. – Публикация 1-3 [Интернет публикация] URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-2/5179.pdf> (знайдено 17.07.2018)
Ганимедов В.Л. Течение воздуха в носовой полости человека. Результаты математического моделирования / В.Л. Ганимедов, М.И. Мучная, А.С. Садовский // Российский журнал биомеханики. – 2015. – Т. 19. – № 1. – С. 37–51
Keyhani K. Numerical simulation of airflow in the human nasal cavity / K. Keyhani, P.W. Scherer, M.M. Mozell // J Biomech Eng. – 1995 Nov. – No. 4. – Vol. 117. – pages 429-441
Tan J. Numerical simulation of normal nasal cavity airflow in Chinese adult: a computational flow dynamics model / J. Tan et al. // Eur Arch Otorhinolaryngol. – 2012. – No. 3. – Vol. 269. – pages 881–889
Wen J. Numerical simulations for detailed airflow dynamics in a human nasal cavity / J. Wen et al. // Respiratory Physiology & Neurobiology. – 2008. – No. 2. – Vol. 161. – pages 125–135

UA 118125 C2

(54) СПОСІБ ПЛАНУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РИНОХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ

(57) Реферат:

Винахід належить до медицини, власне до оториноларингології, і може бути використаний для прогнозування функціональних результатів ринохірургічних втручань за допомогою віртуального моделювання. Відповідно до способу проводять визначення локальних аеродинамічних опорів вздовж носової порожнини, виявляють максимальний з них, а

результуючу витрату повітря обчислюють з урахуванням як втрати тиску за довжиною носової порожнини, так і втрати тиску на максимальному локальному аеродинамічному опорі.

Винахід належить до області медицини, а власне до оториноларингології, і може бути використаний для діагностики та хірургічного лікування захворювань верхніх дихальних шляхів.

Відомий спосіб передопераційного обстеження пацієнтів з деформаціями зовнішнього носу (див. Носуля Е.В., Ким І.А. Предоперационное обследование больных с деформациями наружного носа// Российская ринология. - 2000. - № 3. - С. 36-38), що складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух та проведення психоемоційного аналізу статусу пацієнта.

Однак у даному способі не проводиться побудова аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів, що не дозволяє проводити прогнозування результатів функціональних ринохірургічних втручань, зокрема визначення впливу внутрішньоносних структур на течію повітря при диханні з урахуванням втрат тиску за довжиною носової порожнини та визначенням локальних аеродинамічних опорів.

Найбільш близьким за сукупністю ознак є спосіб планування ринологічних функціонально-естетичних оперативних втручань (див. Пат. України № 97779 МПК А61В 5/08, опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5, 2012), який складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини, побудови аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів для визначення витрати Q повітря, віртуального моделювання корекції форми анатомічних структур шляхом зміщення кісткових утворень та скорочення об'єму слизової оболонки на просторовій сегментованій лофтинговій моделі повітряних шляхів носової порожнини для зменшення локальних аеродинамічних опорів носових ходів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання та прогнозування результатів оперативного втручання щодо покращення повітряної провідності носових ходів за формулами $K_Q = Q_2/Q_1 \cdot 100\%$ та $K_R = R_1/R_2 \cdot 100\%$, які характеризують процентні співвідношення між існуючими Q_1 , R_1 та прогнозованими Q_2 , R_2 параметрами витрати повітря та аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів відповідно, проведення додаткових ринометричних досліджень, формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини та віртуальне моделювання корекції форми анатомічних структур здійснюються за рахунок використання єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів, яка дозволяє відразу визначати зміни внутрішніх (функціональних) та зовнішніх (естетичних) анатомічних структур, визначення витрати Q повітря у верхніх дихальних шляхах виконують за формулою, яка дозволяє враховувати режим течії повітря при носовому диханні:

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta p}{\lambda p \sum_{i=1}^N \frac{\Delta l_i}{S_i^2}}} = \sqrt{\frac{\Delta p}{R}}$$

де Δp - перепад тиску повітря у носовому ході,

де $\lambda = 64/Re$ для ламінарного та $\lambda = 0,32/Re^{0,25}$ для турбулентного режимів течії повітря відповідно;

Re - число Рейнольдса для режиму течії повітря в носовій порожнині;

$\rho = 1,205$ кг/м³ - щільність повітря;

r - усереднений радіус перерізу носового ходу;

N - кількість ділянок носового ходу;

Δl_i - довжина i -ї ділянки носового ходу,

S_i - площа перерізу ділянки носового ходу;

R - аеродинамічний опір носового ходу, та визначають n коефіцієнтів $K^{(1)}E_n = |P_{O_n} - P_{H_n}|/P_{H_n} \cdot 100\%$ та $K^{(2)}E_n = |P_{M_n} - P_{H_n}|/P_{H_n} \cdot 100\%$, які об'єктивно характеризують відносні

естетичні зміни геометричних характеристик P_{O_n} , P_{M_n} зовнішнього носа до та після віртуальної корекції відповідно, відносно нормальних значень P_{H_n} геометричних характеристик зовнішнього носа.

Однак у даному способі проводиться прогнозування результатів функціональних ринохірургічних втручань тільки з урахуванням втрат тиску повітря за довжиною носової порожнини без визначення впливу внутрішньоносових структур на течію повітря при диханні, що не дозволяє адекватно оцінювати зміни анатомічної конфігурації на аеродинамічні процеси в носовій порожнині при віртуальному моделюванні ендоназальної хірургічної корекції анатомічних структур носової порожнини та виконувати прогнозування функціональних результатів ендоназальних операцій з визначенням локальних аеродинамічних опорів.

В основу винаходу поставлена задача створення такого способу планування функціональних ринохірургічних втручань, який дозволяв би, за рахунок визначення локальних аеродинамічних опорів внутрішньоносових структур при диханні, збільшити адекватність процедури віртуального моделювання ендоназальної хірургічної корекції анатомічних структур носової порожнини та підвищити ефективність прогнозування функціональних результатів ринохірургічних оперативних втручань.

Такий технічний результат може бути досягнутий, якщо в спосіб планування функціональних ринохірургічних втручань, який складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів носової порожнини, побудови аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів на основі єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів для визначення витрати Q повітря у верхніх дихальних шляхах за формулою, яка дозволяє враховувати режим течії повітря при носовому диханні, віртуального моделювання корекції форми анатомічних структур шляхом зміщення кісткових утворень та скорочення об'єму слизової оболонки на просторовій сегментованій лофтинговій моделі повітряних шляхів носової порожнини для зменшення локальних аеродинамічних опорів носових ходів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання та прогнозування результатів оперативного втручання щодо покращення повітряної провідності носових ходів за формулами $K_Q = Q_2 / Q_1 \cdot 100$ та $K_R = R_1 / R_2 \cdot 100\%$, які характеризують процентні співвідношення між існуючими Q_1 , R_1 та прогнозованими Q_2 , R_2 параметрами витрати повітря та аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів відповідно, згідно з винаходом, за даними єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів визначають локальні аеродинамічні опори вздовж носової порожнини, виявляють максимальний з них, а результуюча витрата Q повітря у верхніх дихальних шляхах буде обчислюватися за формулою

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{\lambda p}{r} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta l_i}{S_i^2} + \max \left(\frac{\xi_j \cdot \rho}{2S_j^2} \right)}}$$

де Δp - перепад тиску повітря у носовому ході,
 $\lambda = 64 / Re$ для ламінарного та $\lambda = 0,32 / Re^{0,25}$ для турбулентного режимів течії повітря відповідно;

Re - число Рейнольдса для режиму течії повітря в носовій порожнині;

$\rho = 1,205$ кг/м³ - щільність повітря;

r - усереднений радіус перерізу носового ходу;

Δl_i - довжина i -ї ділянки носового ходу;

S_i - площа перерізу i -ї ділянки носового ходу;

N - кількість ділянок носового ходу;

S_j - площа перерізу j -ї локальної ділянки носового ходу;

ξ_j - коефіцієнт локального аеродинамічного опору j -ї локальної ділянки носового ходу, з урахуванням не тільки втрат тиску за довжиною носової порожнини, а і враховуючи втрати тиску на локальних аеродинамічних опорах.

Таким чином, за рахунок застосування в способі планування функціональних ринохірургічних втручань процедури визначення локальних аеродинамічних опорів внутрішньоносових структур при диханні, досягається можливість збільшити адекватність процедури віртуального моделювання ендоназальної хірургічної корекції анатомічних структур

носової порожнини та підвищити ефективність прогнозування функціональних результатів ринохірургічних оперативних втручань.

На фіг. 1 представлено аксіальний томографічний зріз носової порожнини з локальним викривленням носової перегородки вправо; на фіг. 2 наведено приклад визначення залежності коефіцієнта аеродинамічного носового опору за довжиною носової порожнини: а - для правого носового ходу, б - для лівого носового ходу (1 - без урахування втрат тиску на локальному аеродинамічному опорі, 2 - з урахуванням втрат тиску на локальному аеродинамічному опорі; і - номери ділянок (томографічних зрізів) вздовж носової порожнини).

Спосіб, що пропонується, може бути реалізований так: проводяться ринометричні дослідження, що включають визначення анатомічної форми та розмірів зовнішнього носу за даними оцінювання ступеня деформації зовнішнього носу шляхом вимірювань відстаней між серединною лінією носу та найбільш латеральною точкою його поверхні, виміри висоти зовнішнього носу у фронтальній та сагітальній площинах. Далі виконується ендоскопічне обстеження, що включає огляд різних відділів верхніх дихальних шляхів за допомогою оптичного відеоендоскопа для безпосереднього візуального оцінювання локалізації та ступеня деформації глибоко розташованих анатомічних структур носової порожнини. На наступному етапі виконуються функціональні дослідження верхніх дихальних шляхів, основним з яких є риноманометричне дослідження (методами передньої або задньої активної риноманометрії) для об'єктивної оцінки параметрів носового дихання і отримання даних щодо витрати повітря, відповідного перепаду тиску повітря та коефіцієнта аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів. Додатково можливо проведення дослідження нюхальних порушень стандартними ольфактометричними методами для оцінки ступеня дизосмії. Далі виконується інтроскопічне дослідження порожнини носа та навколо носових пазух за даними рентгенівської спіральної комп'ютерної томографії. Сканування виконують з кроком 1 мм паралельно базової площини черепа.

За даними аксіальних томографічних зрізів виконується формування єдиної узагальненої вексельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів, яка містить структуровані дані щодо розташування кісткових та хрящових об'єктів носової порожнини а також слизової оболонки, шкірних покривів зовнішнього носа, повітряних шляхів та навколоносових пазух. За допомогою розробленого програмного забезпечення виконується формування та візуалізація лофтингової просторової моделі повітряних шляхів носової порожнини, яка містить тільки контури структур, які обмежують порожнину носу та навколоносових пазух. Далі для кількісної оцінки основних аеродинамічних параметрів, що характеризують процес проходження повітря через носову порожнину, виконують побудову аеродинамічної моделі верхніх дихальних шляхів. При цьому в залежності від режиму течії повітря, що визначається за значенням числа Re Рейнольдса, яке розраховується за формулою:

$$Re = \frac{v \cdot 4S}{\Pi \nu}$$

де v - середня швидкість повітря в носовій порожнині (задається для різних режимів дихання - спокійного (0,3 л/с), нормального (1 л/с), форсованого (2 л/с));

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, що дорівнює для повітря при нормальних умовах $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$;

S - середня площа перерізу носового ходу;

Π - периметр носового ходу, визначають витрату повітря у верхніх дихальних шляхах за формулою

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{\lambda \rho}{r} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta l_i}{S_i^2} + \max \left(\frac{\xi_j \cdot \rho}{2S_j^2} \right)}}$$

де Δp - перепад тиску повітря у носовому ході,

$\lambda = 64/Re$ для ламінарного та $\lambda = 0,32/Re^{0,25}$ для турбулентного режимів течії повітря відповідно;

Re - число Рейнольдса для режиму течії повітря в носовій порожнині;

$\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$ - щільність повітря;

r - усереднений радіус перерізу носового ходу;

Δl_i - довжина i -ї ділянки носового ходу;

S_i - площа перерізу i -ї ділянки носового ходу;

N - кількість ділянок носового ходу;

S_j - площа перерізу j -ї локальної ділянки носового ходу;

ξ_j - коефіцієнт локального аеродинамічного опору j -ї локальної ділянки носового ходу.

5 Перша складова в знаменнику цієї формули дозволяє враховувати втрати тиску на тертя за довжиною носової порожнини, а друга складова в знаменнику дозволяє визначити втрату тиску щодо створення вихорів повітря на локальних аеродинамічних опорах.

10 Найбільш характерними локальними аеродинамічними опорами в носовій порожнині є засувка, що обумовлена, наприклад, викривленням носової перегородки (див. фіг.1, позначено стрілкою) та поворот потоку. Коефіцієнт ξ локального аеродинамічного опору при наявності в каналі засувки залежить від ступеня перекриття потоку (в даному випадку 75 % і $\xi=17$) і визначається приблизно за стандартними табличними даними із довідників з гідравлічних або аеродинамічних розрахунків.

Визначення коефіцієнта ξ_α локального аеродинамічного опору при наявності повороту потоку повітря виконується за формулою

15
$$\xi_\alpha = \xi_{90^\circ} (1 - \cos \alpha),$$

де ξ_{90° - значення коефіцієнта локального аеродинамічного опору для кута $\alpha = 90^\circ$, $\xi_{90^\circ} = 1$;
 α - кут повороту каналу.

20 При наявності близько розташованих локальних аеродинамічних опорів, враховуючи неможливість урахування їх взаємовпливу та малу довжину носової порожнини (близько 70 мм при середньому радіусу перерізу близько 2,5 мм), доцільно при розрахунках вибирати локальний аеродинамічний опір з максимальним коефіцієнтом ξ .

25 При аеродинамічних розрахунках необхідно враховувати, що режим спокійного дихання (при витраті повітря до 0,3 л/с) відповідають числа Рейнольдса менш критичного ($Re_{кр}=2300$) і течія повітря може прийматися як ламінарна, в інших режимах дихання (при нормальному та форсованому диханні) вибирається турбулентний режим течії повітря і виконуються відповідні розрахунки, які ґрунтуються на апроксимації ділянок носових ходів ділянками труби з еквівалентним круглим перерізом. При цьому загальний перепад Δp тиску повітря у верхніх дихальних шляхах визначається за даними задньої активної риноманометрії відповідно до режиму дихання.

30 Із графіків на фіг. 2, а очевидно, що врахування в правому носовому ході локального аеродинамічного опору при локальному викривленні носової перегородки вправо (див. фіг. 1), на 30 % збільшується величина коефіцієнта аеродинамічного носового опору $R = \Delta p / Q^2$ (згідно з кривою 2), чим без урахування (див. криву 1) та в лівому носовому ході (див. фіг. 2, б), де локальні опори відсутні.

35 Віртуальне моделювання корекції форми анатомічних структур носа (як внутрішніх, так і зовнішніх) проводиться на основі узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів та передбачає корекцію анатомічних структур верхніх дихальних шляхів - зміщення та часткове видалення кісткових утворень та скорочення об'єму слизової оболонки для зменшення локальних аеродинамічних опорів носових ходів. Розрахунки основних аеродинамічних показників щодо змодельованої носової порожнини виконуються на знову сформованих сегментованій лофтинговій та аеродинамічній моделі верхніх дихальних шляхів. При цьому за даними єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі досягається можливість відразу визначити зміни як внутрішніх (функціональних), так зовнішніх (естетичних) анатомічних структур носа при віртуальному моделюванні ринохірургічного оперативного втручання.

45 Далі виконується прогнозування ефективності функціональних та результатів оперативного втручання за даними об'єктивних показників. Покращення повітряної провідності носових ходів (функціональний результат) визначається розрахунком коефіцієнтів $K_Q = Q_2 / Q_1 \cdot 100\%$ та $K_R = R_1 / R_2 \cdot 100\%$, які характеризують процентні співвідношення між існуючими Q_1 , R_1 та прогнозованими Q_2 , R_2 параметрами витрати повітря та аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів відповідно.

50 Використання даного способу дає можливість на етапі хірургічного планування провести кількісну оцінку післяопераційного покращення функціональних результатів оперативного втручання, причому, що особливо важливе, з урахуванням післяопераційної зміни локальних

аеродинамічних опорів, що спостерігається більш, ніж в 80 % випадків при функціональній ендоназальній ринопластиці.

Спосіб пройшов клінічну апробацію на 60 пацієнтах в оториноларингологічному відділенні КЗ ЦЕМД та МК "Харківська обласна клінічна лікарня" з проведенням в післяопераційному періоді риноманометрії та спіральної комп'ютерної томографії за критеріями сучасної доказової медицини.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

10

Спосіб планування функціональних ринохірургічних втручань, який складається з проведення ринометричних досліджень, виконання ендоскопічного обстеження порожнини носа, проведення функціональних досліджень верхніх дихальних шляхів, виконання інтроскопічного обстеження стану носових пазух, проведення процедури формування просторової сегментованої лофтингової моделі повітряних шляхів на основі єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів для визначення витрати Q повітря у верхніх дихальних шляхах за формулою, яка враховує режим течії повітря при носовому диханні, віртуального моделювання корекції форми анатомічних структур шляхом зміщення кісткових утворень та скорочення об'єму слизової оболонки на просторовій сегментованій лофтинговій моделі повітряних шляхів носової порожнини для зменшення локальних аеродинамічних опорів носових ходів, визначення основних аеродинамічних показників носового дихання та прогнозування результатів оперативного втручання щодо покращення повітряної провідності носових ходів за формулами $K_Q = Q_2 / Q_1 \cdot 100\%$ та $K_R = R_1 / R_2 \cdot 100\%$, де Q_1 та Q_2 – існуюча та прогнозована витрати повітря відповідно, R_1 та R_2 – існуючий та прогнозований аеродинамічні опори верхніх дихальних шляхів відповідно K_Q , K_R – коефіцієнти, які характеризують процентні співвідношення між існуючими та прогнозованими значеннями витрати повітря та аеродинамічного опору верхніх дихальних шляхів відповідно, який **відрізняється** тим, що за даними єдиної узагальненої воксельної томографічної моделі верхніх дихальних шляхів визначають локальні аеродинамічні опори вздовж носової порожнини, виявляють максимальний з них, а витрату Q повітря у верхніх дихальних шляхах обчислюють за формулою:

25

30

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{\lambda \rho}{r} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta l_i}{S_i^2} + \max\left(\frac{\xi_j \cdot \rho}{2S_j^2}\right)}},$$

де Δp - перепад тиску повітря у носовому ході,

$\lambda = 64/Re$ для ламінарного та $\lambda = 0,32/Re^{0,25}$ для турбулентного режимів течії повітря відповідно;

35

Re - число Рейнольдса;

$\rho = 1,205 \text{ кг/м}^3$ - щільність повітря;

r - усереднений радіус перерізу носового ходу;

Δl_i - довжина i -ї ділянки носового ходу;

S_i - площа перерізу i -ї ділянки носового ходу;

40

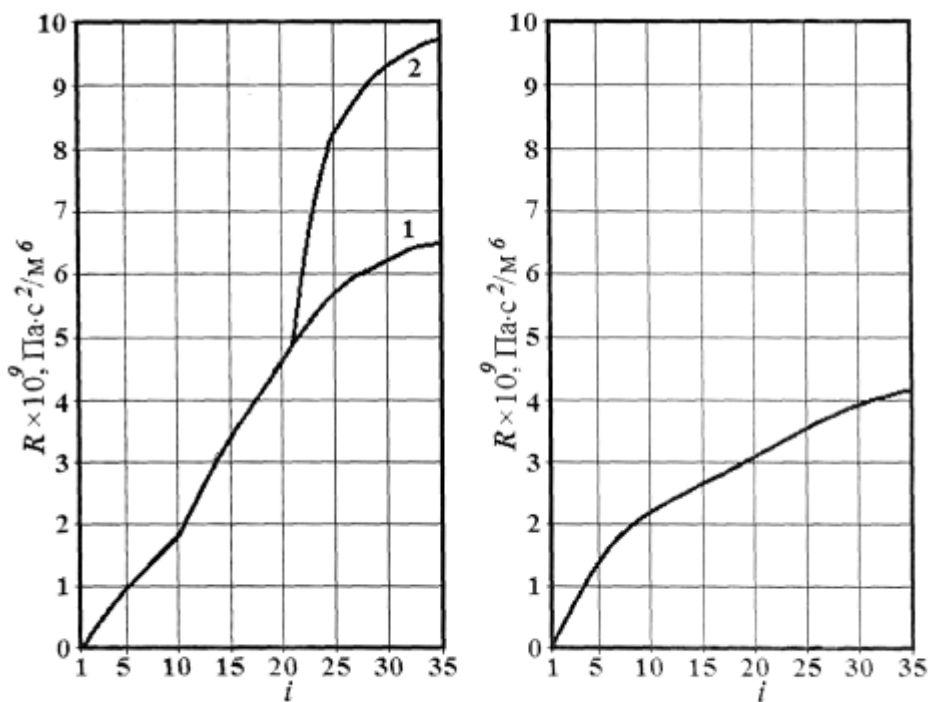
N - кількість ділянок носового ходу;

S_j - площа перерізу j -ї локальної ділянки носового ходу;

ξ_j - коефіцієнт локального аеродинамічного опору j -ї локальної ділянки носового ходу.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601