

// Вести АН БССР. Сер. Физ.- техн. науки . - 1989.- №3. - С.93-98.

4. Пойда В.Н. Спектральный анализ в дискретных ортогональных базисах / В.Н. Пойда . – Мн.: УНИВЕРСИТЭЦКАЕ, 1978. - 236с.

5. Лопатін В.В. Рациональна цифрова фільтрація і обробка результатів у мобільної вимірювальної системи контролю / В.В. Лопатін // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: Науково-виробничий збірник. – Кременчук, 2010. - Вип. № 2/2010 (6). - С. 110-116.

6 Сидоров В.А. Анализ тимчасових реалізацій вібраційного сигналу / В.А. Сидоров, А.В. Куватов, Е.П. Куришева // Вібрація машин: вимір, зниження, захист. - Донецьк: ДНТУ, 2005. - №2. - С.10-14.

7 Оппенхейм А. Нелинейная фильтрация сигналов, представленных в виде результатов и свертки / А Оппенхейм, Т. Стокхейм, Р. Шеффер // Тр. Института инженеров по электронике и радиотехнике. - Сп.П., 2007. - 68с.

8. Development of automatic vibration ruolucer // ZOSEN. – 1997. -№12.- P. 46-53.

9. Bendat J. RANDOM DATA Analysis and Measurement Procedures / J. Bendat, A. Psersol. – N.Y.: John Wiler &sons. 2001. - 564р.

10 Балицкий Ф.Я. Диагностика состояния редуктора для некоторых параметров / Ф.Я. Балицкий, А.Г. Соколова // Новые методы исследования шумов и вибраций и кибернетическая диагностика машин и механизмов. - Каунас: Каунас. политехн. ин-т., 1990. - С. 102-106.

11. Трахтман А.М. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах / А.М. Трахтман, В.А. Трахтман. - Л.: ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1986. - 49с.

12. Kalman R. A new approach to linear filtering and prediction problems / R. Kalman // Trans. ASME. J. Basic Engineering. – 1975. - №3. - P. 57-89.

13. Kiefer J. Optimum experimental designs / J. Kiefer // Actes du congres international des mathematicians. - Nice, 1980. - Т. 3. – P. 346-351.

14. Петько В.И. Цифровая фильтрация и обработка сигналов / Петько В.И., Куконин В.Е., Шихов Н.Б.- Мн.:УНИВЕРСИТЭЦКАЕ, 1995. - 168с.

15. Копей Б.В. Оптимізація вибору складу мобільних інформаційно-вимірювальних системних комплексів в нафтогазовій промисловості / Б.В. Копей, В.В. Лопатін, І.Б. Копей // Анотації Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика: проблеми і перспективи".- Івано-Франківськ. – 2009. - С.93.

УДК 656.13:62-5

Канд. техн. наук Заславський Б.Л.,

д-р техн. наук Сохацький А.В.
(Інститут транспортних систем
та технологій НАН України)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРИМЕЖОВИМ ШАРОМ НА ОПОРНІЙ ПОВЕРХНІ ШЛЯХОВОЇ СТРУКТУРИ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ MAGLEV

Исследованы физические процессы управления пограничным слоем на профилированной поверхности путевой структуры перспективных транспортных технологий. Установлены закономерности влияния параметров управления пограничным слоем на распределение скоростей на путевой структуре.

RESEARCH OF CONTROL EFFICIENCY BY FRONTIER LAYER ON UNDERLAYMENT OF THE GROUND STRUCTURE PERSPECTIVE TRANSPORT TECHNOLOGIES OF MAGLEV

The physical processes of control are investigational by a frontier layer on the profiled surface of the ground structure of perspective transport technologies. Conformities to law of influence of control parameters are set by a frontier layer on distribution of speeds on the ground structure.

Вступ. Аналіз ефективності сучасних галузей транспорту показує, що існує гостра необхідність впровадження в перевізний процес швидкісних наземних транспортних апаратів. Останнім часом особлива увага приділяється створенню

нових перспективних транспортних технологій [1-5]. Потрібні якісно нові технології для вирішення однієї з найбільш актуальних проблем технічного прогресу - створення швидкісного масового наземного транспорту.

Розробка та удосконалення транспортних апаратів є актуальною проблемою сьогодення. Її розв'язування можливо двома шляхами: перший – проектування нових типів транспортних апаратів із використанням традиційних технічних принципів; другий – розробка нових видів транспортних апаратів, що використовують нові фізичні принципи забезпечення руху, підтримки, стабілізації і системи керування.

До другого напрямку розвитку транспорту відноситься створення швидкісних транспортних апаратів на надпровідних магнітах. Високі швидкості руху цих транспортних апаратів потребують обов'язкового урахування аеродинамічних процесів. Виникають додаткові проблеми з істотним впливом аеродинамічних навантажень на забезпечення стійкості руху транспортного апарата. Наявність шляхової структури накладає обмеження на кінематичні параметри руху. Таким чином, виникає необхідність у проведенні досліджень аеродинаміки та динаміки руху нових перспективних транспортних апаратів на надпровідних магнітах.

Актуальність проблеми. При моделюванні обтікання транспортних апаратів, що рухаються поблизу поверхні шляхової структури, виникає ряд труднощів, пов'язаних з реалізацією реальних умов обтікання. В ідеалі між транспортним апаратом та шляховою структурою реалізується відносний рух. Порушення подібності відносного руху може призводити до похибок при моделюванні.

Вилучити примежовий шар з поверхні шляхової структури можна шляхом застосування методів управління примежовим шаром (УПШ). Він реалізовується шляхом тангенціального вдування або відсмоктування примежового шару з поверхні. Проте використання цього методу не отримало широкого використання у зв'язку з труднощами забезпечення виконання законів збереження. Необхідні додаткові дослідження з метою отримання оцінки ефективності методу при його застосуванні для фізичного моделювання руху транспортних системах Maglev.

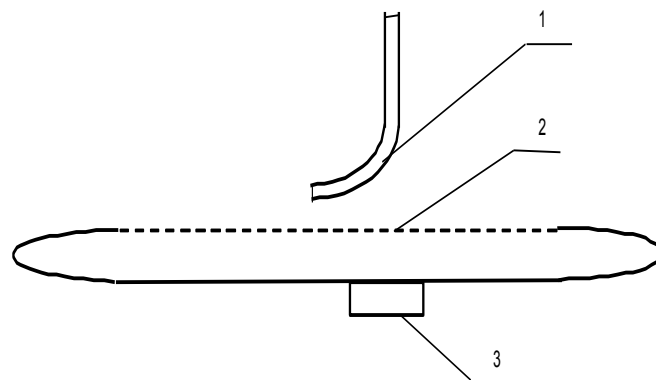
Постановка задачі. Технічні рішення для створення моделі з відсмоктуванням примежового шару відомі, але дуже складні, оскільки необхідно дроселювати поверхню шляхової структури за допомогою променя лазера. Тому було вирішено використати пористі матеріали. В даний час методами порошкової металургії такі матеріали виготовляються. Такий матеріал повинен володіти властивостями пористості, газопроникливості та мінімальної шорсткості. В результаті порівняння цих характеристик був вибраний матеріал ПНС-10. Пориста пластина товщиною 2,2 мм виготовлена із матеріалу ПНС-10, має пористість 32% та коефіцієнт шорсткості 0,43.

Для визначення необхідного перепаду тиску Δp на пластині при заданій швидкості набігаючого потоку, використовувалися наближені методи розрахунку. При відсмоктуванні, через проникну поверхню частина повітря вилучається з примежового шару і її місце займають об'єми повітря з більш відда-

лених від стінки шарів течії, маючи більшу кінетичну енергію. В результаті, з ростом інтенсивності відсмоктування профіль швидкості стає більш наповненим. Але умова прилипання до стінки залишається і при наявності відсмоктування.

Для апробації керування товщиною примежового шару шляхом його відсмоктування через пористі пластини була виготовлена відповідна модель. Вона виготовлена в вигляді полого корпусу з закругленими передніми та задніми кромками. У верхній стінці моделі, яка імітує опорну поверхню, установлювалась пориста пластина. На нижній частині корпусу розміщено штуцер для з'єднання з вакуумним насосом, який створить всередині моделі задане розрідження Δp .

Результати дослідження ефективності управління примежовим шаром на пористій пластині. Продувки виконувались в аеродинамічній трубі АТ-1 КМЗ ім. О.К.Антонова з відкритою робочою частиною та еліпсоїдним вихідним перерізом сопла з розмірами осей 4250×2600 мм. Дослідження проводились при швидкості набігаючого потоку $V=30, 40, 50$ м/с. Число Рейнольда відповідно дорівнювало $6 \cdot 10^6, 8 \cdot 10^6, 1 \cdot 10^7$ при степені турбулентності $\varepsilon=0,2\%$. Розрідження всередині корпусу варіювалась в межах від 0 до $8 \cdot 10^3$ Па з кроком $2 \cdot 10^3$ Па. Приймач повного тиску переміщувався як уздовж пористої пластини довжиною L , так і перпендикулярно до неї по висоті примежового шару. Схема експериментальної установки показана на рис. 1.



1-мікронасадок; 2- опорна пориста поверхня;
3- штуцер для відсмоктування повітря

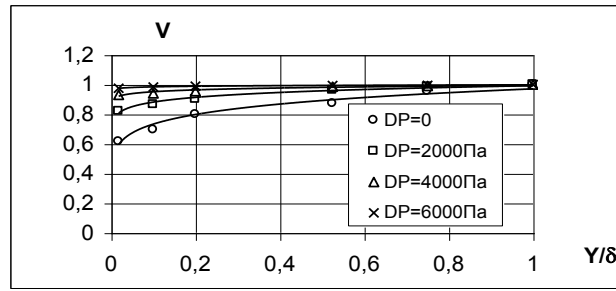
Рис. 1 - Схема дослідної установки:

Швидкість течії в примежовому шарі визначалась за формулою

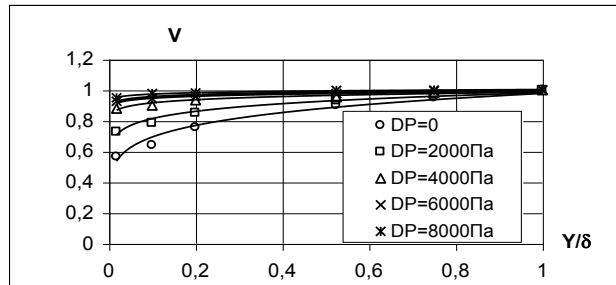
$$v = \sqrt{2q/\rho}, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, q – швидкісний напір.

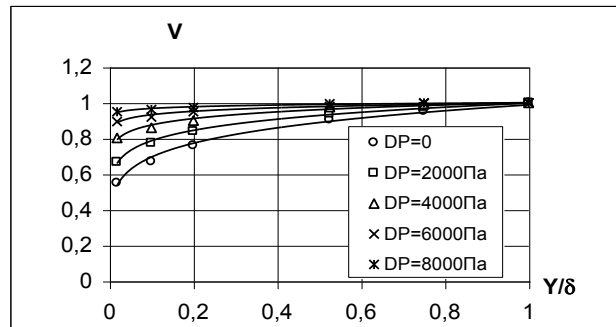
На рис. 2. наведено профілі швидкостей по товщині примежового шару. Аналіз результатів показує, що при відсмоктуванні примежового шару шляхом розрідження його товщина зменшується, а профіль швидкості стає більш наповненим. При $\Delta p=8 \cdot 10^3$, в точці $\bar{x}=1$ ($\bar{x}=x/L$), $\bar{y}=0,25$ ($\bar{y}=y/\delta$) швидкість в



a)



б)



в)

а - $V=30\text{м/с}$; б - $V=40\text{м/с}$; в - $V=50\text{м/с}$

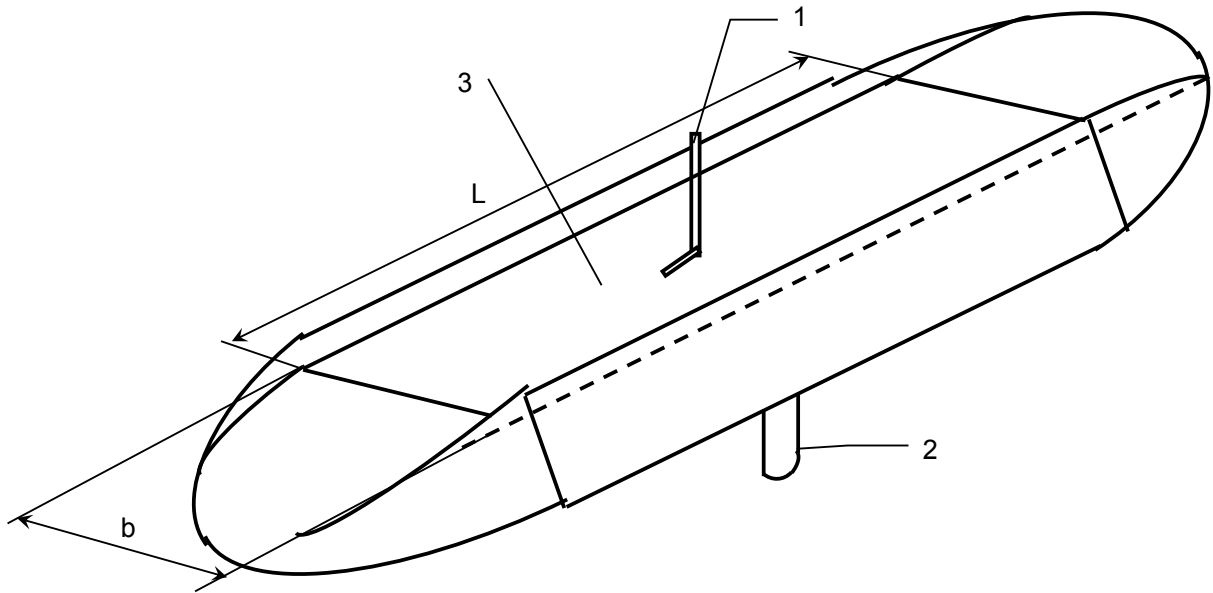
Рис. 2 - Дослідження ефективності відсмоктування примежового шару з поверхні пористої пластини ПНС-10 при різних швидкостях потоку

примежовому шарі стає близькою до швидкості набігаючого потоку, тобто товщина примежового шару зменшилась на 75%. Таким чином, виконані експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок про те, що відсмоктування примежового шару є ефективним засобом управління примежовим шаром і дозволяє його вилучати з певних областей течії.

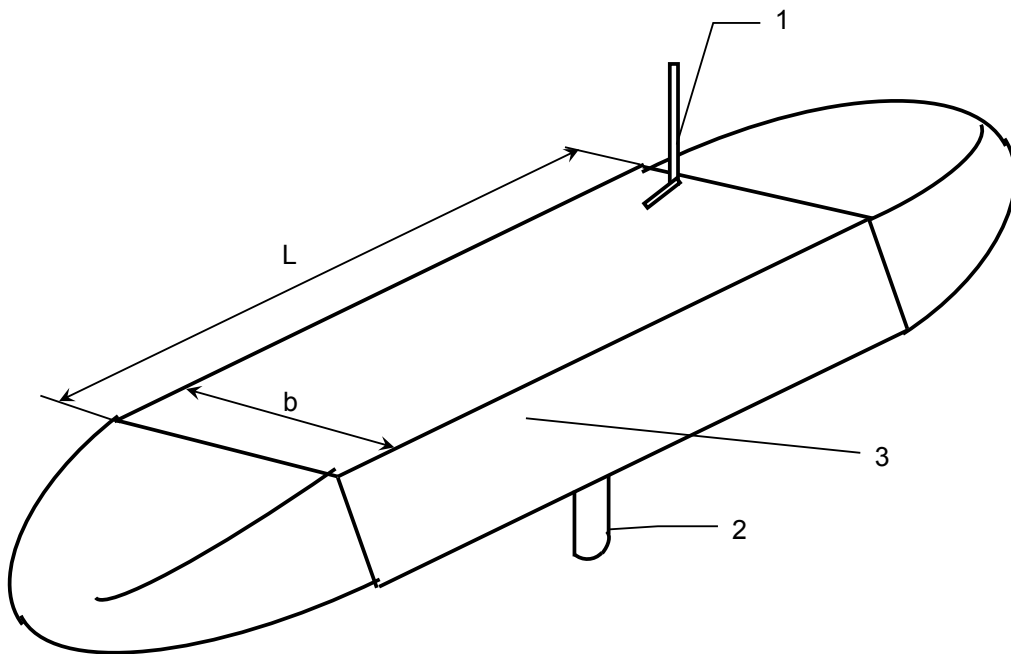
Результати дослідження ефективності управління примежовим шаром на опорній поверхні шляхової структури. Для оцінки ефективності управління примежовим шаром на поверхні шляхової структури було виготовлено відповідні моделі U- подібної та трапецієподібної шляхових структур для транспортних апаратів перспективної транспортної системи. Як робочі екрануючі поверхні використовувались пористі матеріали, виготовлені методом порошкової металургії.

Досліджувані моделі представляли собою порожнисті корпуса з закругленими передніми та задніми крайками. Одна із моделей з U-подібним профілем поперечного перерізу (рис. 3), друга модель (рис.4) з трапецеїдальним профілем

поперечного перерізу.



1-мікронасадок; 2 - штуцер для відсмоктування повітря; 3 - опорна пориста поверхня
Рис. 3 - Схема дослідної установки U-подібної шляхової структури



1-мікронасадок; 2- штуцер для відсмоктування повітря;
3 - опорна пориста поверхня

Рис. 4 - Схема дослідної установки з трапецієподібною шляховою структурою:

Опорна поверхня, через яку проводилось відсмоктування примежового шару, мала довжину $L=2145\text{мм}$ та ширину $b=650\text{мм}$ для першої моделі та довжину $L=2145\text{мм}$ та ширину $b=200\text{мм}$ для другої моделі відповідно.

Дослідження проводились в аеродинамічній трубі АТ-1 КМЗ ім. О.К.Антонова замкнутого типу з відкритою робочою частиною та наступними технічними характеристиками:

- переріз робочої частини – еліпсоїдний з розмірами осей 4250×2600 мм;
- довжина робочої частини – 4000 мм;
- ступінь початкової турбулентності потоку $\varepsilon=0,3\%$;
- ступінь підтискування сопла –5;
- робочий діапазон швидкостей – 10 ÷70 м/с;
- допустимі габарити моделей; розмах крила – $L\leq 2500$ мм;
- площа крила – $s\leq 0,75\text{м}^2$;
- еквівалентний діаметр поганообтічних тіл – $d\leq 0,8\text{м}$;
- діапазон кутів атаки – $\alpha=50^\circ$,
- діапазон кутів ковзання – $\beta=\pm 25^\circ$.

Число Рейнольдса відповідно дорівнювало $4,29\times 10^6$, $5,72\times 10^6$, $7,15\times 10^6$ при степені турбулентності $\varepsilon=0,3\%$. Розрідження всередині корпусу варіювалось в межах від 0 до $6\cdot 10^3$ Па з кроком $2\cdot 10^3$ Па. Приймач повного тиску переміщували як уздовж пористої пластини довжиною L , так і перпендикулярно до неї по висоті примежового шару. Швидкість течії в примежовому шарі визначалась за формулою (1).

Для заміру параметрів в примежовому шарі використовувався приймач повного тиску та U – подібний спиртовий манометр. В експериментах мікронасадок встановлювався на відстанях $L_x = 60, 110, 220, 360, 715, 1010, 1265, 1555$ мм від передньої крайки. В положеннях $L_x = 60, 1010, 1555$ мм мікронасадок переміщували по висоті примежового шару від 0 до 20 мм з кроком 1мм. У всіх експериментах модель встановлювалася під кутом 0 градусів до набігаючого потоку.

Аналіз результатів досліджень (рис. 4.-5.) показує, що практично в усіх випадках розрідження 6×10^3 Па, утвореного в камері, достатньо, щоб товщина примежового шару на цій поверхні була мінімальною, $\delta < 1$ мм. При цьому спостерігається зменшення його товщини до 95%.

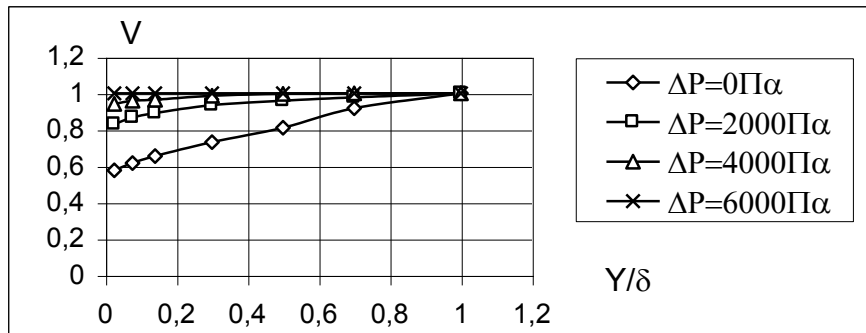
Слід відмітити, що порушення рівномірності відсмоктування призводить до зміни його товщини. Для реалізації рівномірного відсмоктування необхідно, щоб патрубки обслуговували рівні площі опорної поверхні.

Виконані дослідження шляхової структури показали, що ціленаправлене управління примежовим шаром на опорній поверхні шляхом його відсмоктування дозволяє виконати принцип зворотності в аеродинамічній трубі. Управління примежовим шаром дозволяє отримати заданий розподіл швидкостей на межі області.

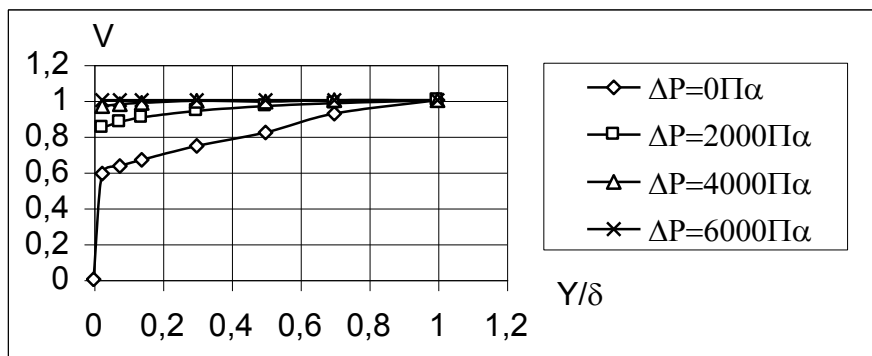
Висновки. На основі виконаних експериментальних досліджень шляхової структури для перспективних транспортних технологій типу MAGLEV визначено їх аеродинамічні характеристики. За результатами проведених досліджень встановлено наступне:

- відсмоктування повітря з поверхні пористої шляхової структури дозволяє задавати необхідний закон розподілу швидкостей;
- метод управління примежовим шаром шляхом відсмоктування повітря може спричиняти невиконання закону збереження маси між днищем транс-

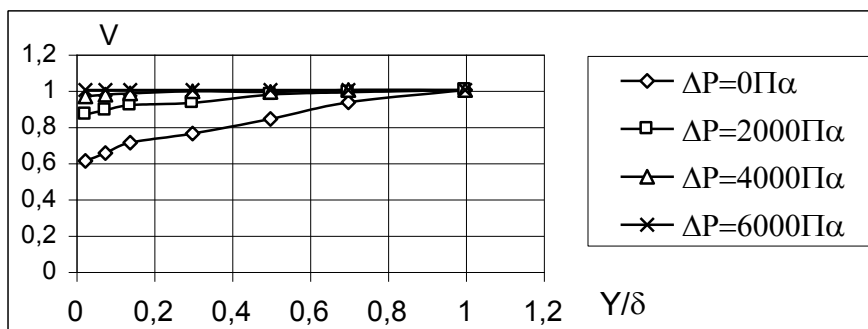
портного апарата та шляховою структурою, що може приводити до перерозподілу тиску і появи від'ємної підйомної сили на транспортному апараті.



а)

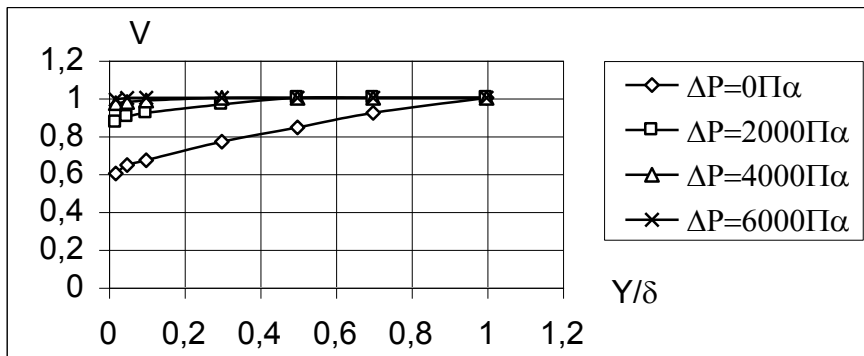


б)

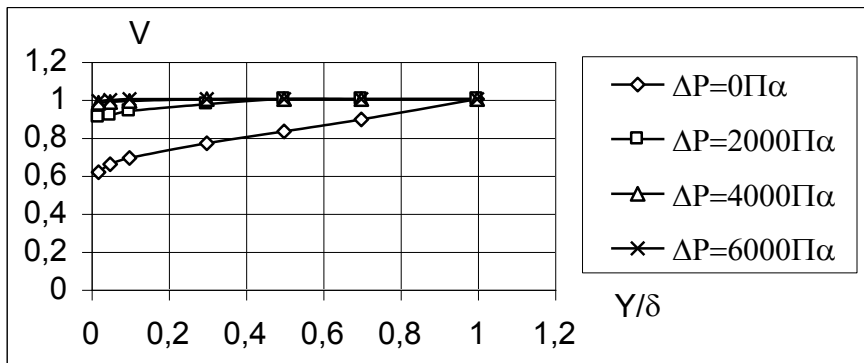


в)

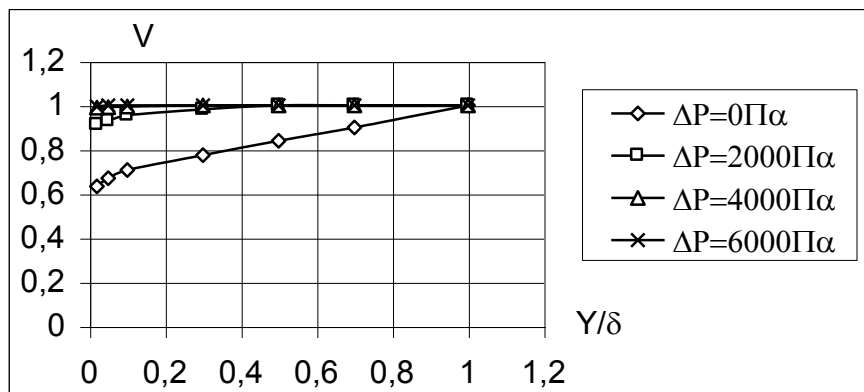
U – подібної шляхової структури для $L=1010\text{мм}$:
 а - $V=30\text{м/с}$; б - $V=40\text{м/с}$; в - $V=50\text{м/с}$
 Рис. 5 - Профіль поздовжньої швидкості в примежовому шарі



a)



б)



в)

а - $V=30\text{м/с}$; б - $V=40\text{м/с}$; в - $V=50\text{м/с}$

Рис. 6 - Профіль позовжньої швидкості в примежовому шарі трапецієподібної шляхової структури для $L=1555\text{мм}$:

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В.А. Дзензерский, В.И. Омеляненко, С.В. Васильев, С.А. Сергеев – Киев: Наукова думка. –2001.–480с.
2. Дзензерский В.А. Динамика транспорта на сверхпроводящих магнитах / В.А. Дзензерский, Н.А. Радченко – Днепропетровск: АРТ-ПРЕС. –2003.–232с.
3. Prykhodko O., Sokhatsky A. On the aerodynamic calculation of high-speed ground transport vehicles // 17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MAGNETICALLY LEVITATED SYSTEMS AND LINEAR DRIVES. Swiss Federal Institute of technology.- Lausanne, 2002. N PP05201. - 11 P.
4. Сохацький А. В. Чисельне моделювання та експериментальне дослідження білякранних течій: дис. канд. фіз.-мат. наук: 01.05.02. / А.В. Сохацький. – Дніпропетровськ, –1998. –247с.
5. Сохацький А. В. Теоретичні основи створення аеродинамічних компонентів перспективних транспортних апаратів: дис. доктора технічних наук: 05.07.01. / А.В. Сохацький. – Київ, –2010. –380с.