

The necessity of elaborating the methods of valuation of charge efficiency of automated lines in production process is substantiated. Mathematical dependences for calculation of the coefficient of using and coefficient of the waste of time by the system that consists of two machine-tools and by the hardly connected machines with the same and different productivities are built.

**Keywords:** automated line, mathematical dependences, methods of valuation, efficiency of charge, coefficient of using work time, the system with two machine-tools, hard connection.

УДК 674:621.928.93

Викл. А.В. Ляшеник<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
доц. Л.О. Тисовський<sup>2</sup>, канд. фіз.-мат. наук; викл. Л.М. Дорундяк<sup>1</sup>;  
ст. викл. Ю.Р. Дадак<sup>2</sup>, канд. техн. наук; викл. В.М. Крупа<sup>1</sup>

## ПРО ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ЦИКЛОНА НА ЙОГО ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР

Досліджено вплив геометричних розмірів окремих частин циклона на гідравлічний опір апарата. Проаналізовано результати, отримані внаслідок математичного моделювання руху повітряного потоку в сепараторі. Визначено рекомендовані відношення параметрів окремих елементів циклона.

Аеродинамічні процеси, що відбуваються у циклонах, досліджує багато науковців. Однак питанням впливу геометричних розмірів окремих частин циклона на його гідравлічний опір у літературі приділено мало уваги. Це пов'язано з тим, що існуючі донедавна підходи до математичного моделювання не давали змоги точно описати процес руху запилених потоків, а експериментальні дослідження є дорогими. У цій роботі зроблено спробу здійснити аналіз впливу зміни геометричних розмірів окремих частин циклона на його гідравлічний опір.

**Побудова математичної моделі.** Аналіз руху повітряних потоків у циклоні будемо проводити на основі такого підходу [1]. Припустимо, що запилена газова суміш у циклоні є гомогенним середовищем, поведінку якого можна описати моделлю в'язкої стискуваної рідини (газу). Тоді повна система рівнянь для аналізу аеродинамічних процесів у сепараторі складається з рівнянь Нав'є-Стокса, рівняння нерозривності, рівнянь стану і рівняння балансу тепла, які можна представити таким чином.

1. Рівняння Нав'є-Стокса є основним рівнянням динаміки в'язкого газу й у векторному записі має такий вигляд:

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho \vec{F} - \text{grad}(p + \frac{2}{3} \mu \text{div} \vec{V}) + 2 \text{Div}(\mu \dot{S}), \quad (1)$$

де:  $\vec{V}$  – вектор швидкості точки суцільного середовища з координатами  $x, y, z$  у момент часу  $t$  (змінні Ейлера);  $\rho$  – густина середовища в точці з координатами  $(x, y, z)$  у момент часу  $t$ ;  $\vec{F}$  – вектор густини масової сили;  $\text{div} \vec{V}$  – дивергенція вектора швидкості  $\vec{V}$ ;  $\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості;  $\dot{S}$  – тензор швидкості деформації;

<sup>1</sup> Коломийський політехнічний коледж;

<sup>2</sup> НЛТУ України, м. Львів

2. Рівняння нерозривності, яке є математичним записом закону збереження маси певного об'єму суцільного середовища і у векторному представленні має вигляд

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (2)$$

3. Рівняння стану:

$$p = \rho RT \quad (3)$$

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^n, \quad (4)$$

де:  $R$  – газова постійна, яка для різних газів набуває різних значень;  $T_0$  і  $\mu_0$  – відповідно абсолютна температура і коефіцієнт в'язкості, що відповідають деякому початковому стану газу.

4. Рівняння балансу тепла:

$$\rho \frac{d}{dt} \left( h + \frac{V^2}{2} \right) = \rho \vec{P} \cdot \vec{V} + \frac{\partial p}{\partial t} + \operatorname{div}(2\mu \vec{V} \dot{S} - \frac{2}{3} \mu \vec{V} \operatorname{div} \vec{V} + \frac{\mu}{\sigma} \operatorname{grad} h) \quad (5)$$

Таким чином, для визначення семи невідомих  $u, v, w, p, \rho, \mu, T$  отримали систему семи (1-5), які складають замкнену систему рівнянь руху в'язкого газу.

Зазначимо при цьому, що для в'язкого газу повинні також виконуватися такі припущення:

- а) газ є "ньютонівським" середовищем;
- б) коефіцієнти теплоємності  $c_p$  і  $c_v$ , а значить і їх відношення  $k$  не залежать від абсолютної температури газу і є фізичними константами газу;
- в) коефіцієнт теплопровідності газу  $\lambda$  пропорційний динамічному коефіцієнту в'язкості  $\mu$ , так що число Прандтля  $\sigma = \frac{\mu c_p}{\lambda}$  розглядається як фізична постійна газу, тобто  $\sigma = \text{const}$ .

Для того, щоб розв'язок отриманої системи диференціальних рівнянь у частинних похідних був єдиним, потрібно задати початкові та граничні умови, які, своєю чергою, визначаються формою і конструктивними особливостями циклона та умовами його роботи, тобто для кожного типу циклона існує свій набір початкових і граничних умов.

Під початковими умовами при цьому розуміють задавання в початковий момент часу поля швидкостей і температур, і, крім того, тиску в довільній точці циклона.

Граничні умови задати важче, оскільки вони залежать як від форми циклона, так і від особливостей його функціонування. Граничні умови залежать і від густини газу. Газ великої густини "прилипає" до стінок сепаратора, в той час, як розріджений газ ковзає по граничних поверхнях. Проте, незважаючи на особливості, є певні закономірності задавання граничних умов при русі запиленого повітря в пилоочищувачі, а саме: 1) рівність нулю швидкості на нерухомій твердій границі; 2) швидкість набігаючого пилоповітряного потоку на вході в сепаратор є відомою.

Граничні умови для температури також можуть бути різноманітними. Найпростіше задавати розподіл температури на поверхні циклона в початковий момент часу і температуру набігаючого пилоповітряного потоку. В деяких випадках можна задавати розподіл тепловіддачі, тобто закон зміни кількості тепла, що проходить за одиницю часу через одиницю площі поверхні робочого органу. Як правило, при цьому припускають, що має місце закон Фур'є.

У число граничних умов входять також задання тиску набігаючого потоку пилоповітряної суміші в деякій точці у вхідному патрубку.

**Числовий аналіз задачі.** На основі наведених рівнянь проведемо вивчення впливу форми циклона на його гідравлічний опір. Для числового аналізу було обрано циклон ЦН-15 (рис. 1) з такими розмірами:

- діаметр циклона,  $D = 400$  мм;
- висота циліндричної частини циклона,  $H_{\text{Ц}}$  – змінювалась у межах 250-850 мм за рекомендованого значення 650 мм;
- висота конічної частини циклона,  $H_{\text{К}}$  – 800 мм;
- діаметр вихлопної труби,  $d = 240$  мм;
- глибина занурення вихлопної труби,  $h_3$  – змінювалась у межах 56-716 мм за рекомендованого значення 316 мм;
- діаметр пиловипускного патрубка,  $d_0 = 150$  мм.

Швидкість потоку повітря у вхідному патрубку приймали рівною  $V=20$  м/с. Густина повітря  $\rho_{\text{п}}=1,3$  кг/м<sup>3</sup>, густина матеріалу твердої частинки  $\rho_{\text{ч}}=700$  кг/м<sup>3</sup>; температура повітряного потоку  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ; статичний тиск на виході з вихлопної труби циклона дорівнює атмосферному.

На рис. 2 зображено залежність гідравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби для різних значень висоти циліндричної частини  $H_{\text{Ц}}$ . У разі збільшення значення  $h_3$  гідравлічний опір сепаратора зростає. Характер залежності  $\Delta P$  від  $h_3$  може бути як лінійним, так і нелінійним і визначається висотою циліндричної частини. Для значень  $H_{\text{Ц}}$ , які є меншими від 400-450 мм (рис. 2, криві 1-3) характер залежності є лінійним. За подальшого збільшення висоти циліндричної частини (рис. 2, криві 3-7) він буде квадратичним.

На рис. 3 показано вплив висоти циліндричної частини циклона на його гідравлічний опір за різних значень глибини занурення вихлопної труби.

Збільшення значення  $H_{\text{Ц}}$  приводить до зменшення його гідравлічного опору. З одного боку, збільшення значення  $H_{\text{Ц}}$  приводить до збільшення аеродинамічного шляху, який проходить повітряний потік у циклоні, а значить гідравлічний опір апарата мав би зростати. Причини зниження гідравлічного опору циклона можна пояснити зміною напрямку руху повітря та наявністю вторинних потоків у циклоні. Перехід зовнішнього вихору в циклоні у внутрішній відбувається не тільки у конічній частині циклона, але й у циліндрич-

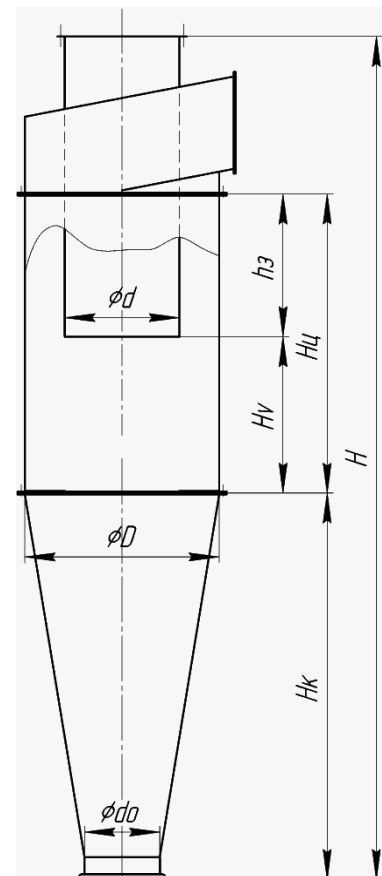
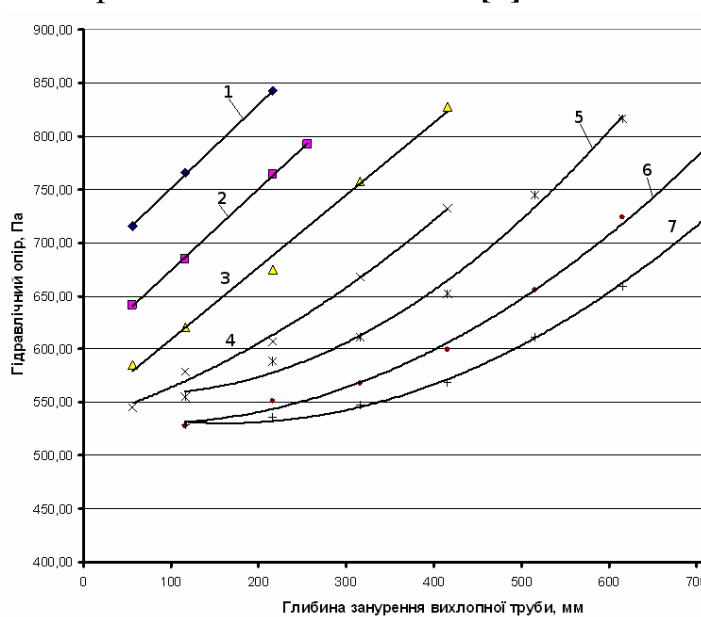
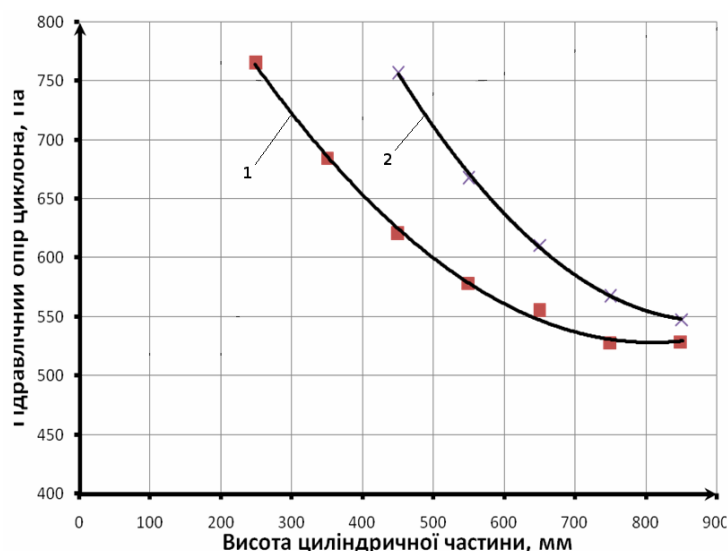


Рис. 1. Сема циклона ЦН-15

ній. Зменшення простору, в якому відбувається такий поворот, приводить до зростання гідравлічного опору апарата. Можна вважати, що за значення  $H_{\text{ц}} = 700$  мм подальше зростання висоти циліндричної частини не приводить до зниження гідравлічного опору циклона. Отримані результати дають змогу підтвердити тезу про те, що основну частину гідравлічного опору циклона становлять втрати в середині нього на енергетичне розсіювання у в'язкому турбулентному обертальному потоці, подолання турбулентних завихрень, і тільки незначна частина втрат пов'язана з розширенням потоку на вході, розсіюванням на виході і тертям до стінок циклона [2].



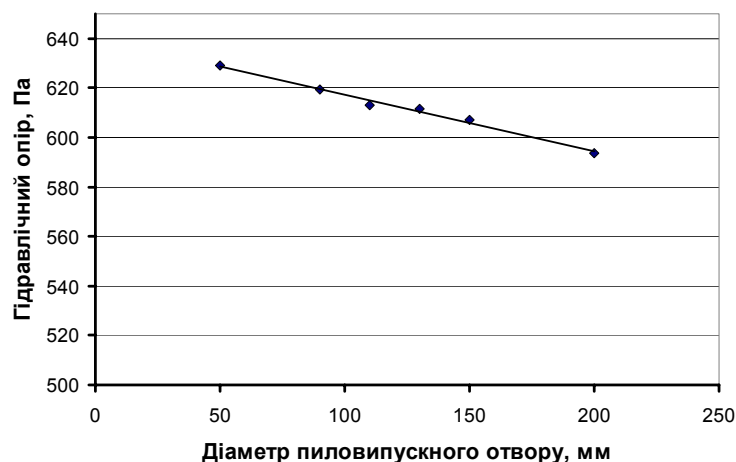
**Рис. 2. Залежність гідравлічного опору циклона від глибини занурення вихлопної труби ( $H_{\text{ц}}$ ): крива 1-200 мм; 2-250 мм; 3-300 мм; 4-350 мм; 5-400 мм; 6-450 мм; 5-500 мм**



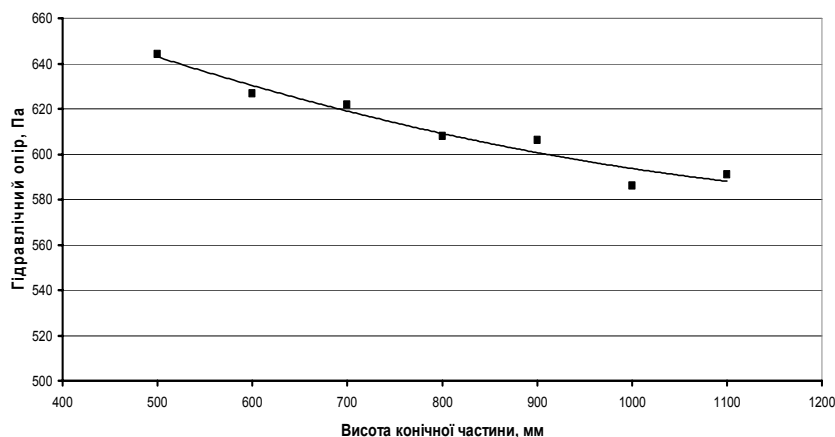
**Рис. 3. Залежність гідравлічного опору циклона від висоти циліндричної частини при значеннях глибини занурення вихлопної труби 116 мм (крива 1) та 316 мм (крива 2)**

Аналогічним чином збільшення простору для здійснення повороту повітряного потоку можна здійснити шляхом збільшення висоти конічної частини  $H_{\text{к}}$ , або збільшенням діаметра  $d_0$  пиловипускного отвору. На рис. 4 по-

казано залежність гідравлічного опору від діаметра пиловипускного отвору. Зі збільшенням значення  $d_0$  гідравлічний опір знижується. Графік залежності гідравлічного опору циклона від висоти його конічної частини наведено на рис. 5. Якщо порівняти результати, представлені на рис. 3 та 5, то можна зробити висновок, що зміна значення висоти циліндричної частини (рис. 3) має більший вплив на гідравлічний опір циклона, аніж зміна висоти конічної частини апарата (рис. 5). Так, у разі збільшення значення  $H_c$  на 20 % порівняно з рекомендованим значенням (650 мм), гідравлічний опір у циклоні знизиться на 13 %. Зростання  $H_K$  на 20 % знизить значення  $\Delta P$  лише на 3,6 %. З практики [3] відомо, що збільшення висоти конічної частини призводить до підвищення ефективності процесу очищення повітряних потоків у циклоні. З іншого боку, збільшення значення  $H_K$  та  $H_c$  спричиняє підвищення металомісткості конструкції апарата і збільшення його габаритних розмірів.



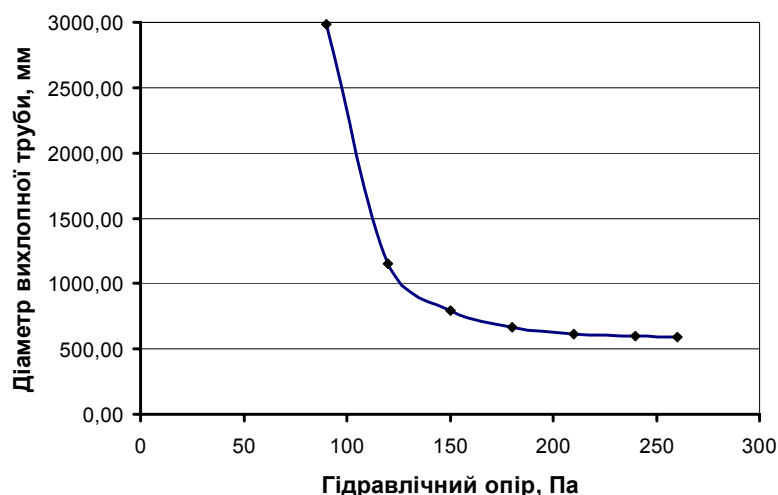
**Рис. 4. Залежність гідравлічного опору циклона від діаметра пиловипускного отвору**



**Рис. 5. Залежність гідравлічного опору від висоти конічної частини**

Значний вплив на гідравлічний опір циклона має діаметр його вихлопної труби. У разі зменшення значення  $d$ , гідравлічний опір циклона зростає (рис. 6). Зауважуємо, що зі збільшенням діаметра від 90 до 150 мм спостерігаємо різке зниження гідравлічного опору циклона. За значень діаметра вихлопної труби 200-260 мм гідравлічний опір циклона практично не знижується. З експериментальних досліджень відомо, що надмірне збільшення значення  $d$  може призводити до того, що на осі вихлопної труби будуть виникати потоки, які будуть спрямовані до середини апарата, що значно знижує

ефективність процесу очищення запиленого повітря у циклоні. Проведені дослідження впливу значення діаметра вихлопної труби на гідравлічний опір циклона для конструкції циклона ЦН-15 різних діаметрів дав змогу визначити рекомендований діапазон значень  $d = 0,4-0,6D$ . Розробники циклона ЦН-15 рекомендують значення  $d = 0,59D$ .



**Рис. 6. Залежність гідравлічного опору від діаметра вихлопної труби**

#### **Висновки:**

1. Такі параметри, як діаметр вихлопної труби та глибина її занурення, мають чітко виражене граничне значення, у разі перевищення якого гідравлічний опір циклона починає різко зростати.
2. Визначальний вплив на гідравлічний опір циклона має його об'єм, який розміщений нижче від вихлопної труби і складається з об'єму циліндричної частини (нижче вихлопної труби) та об'єму конічної частини апарата.
3. Збільшення значень  $H_c$  та  $H_k$  позитивно впливає на процес сепарації. При цьому зміна значення висоти  $H_c$  має більший вплив на гідравлічний опір циклона, аніж зміна  $H_k$ .
4. Рекомендоване значення діаметра вихлопної труби потрібно вибирати з діапазону  $d = 0,4-0,6D$ .

#### **Література**

1. **Тисовский Л.О.** Математическое моделирование аэродинамических процессов в циклоне / Л.О. Тисовский, Л.М. Дорундяк, А.В. Ляшеник, Ю.Р. Дадак // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов и перспективы их развития : матер. Междунар. научн.-техн. конф. – В 2-х част. – Минск, 25-27 ноября 2009 г. – МН БГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 177-182.
2. **Лютий Є.М.** Циклони в деревообробній промисловості : монографія / Лютий Є.М., Тисовський Л.О., Дадак Ю.Р., Ляшеник А.В. – Львів : Редакція журналу "Український пасічник", 2009. – 148 с.
3. **Гордон Г.М.** Пылеулавливание и очистка газов / Г.М. Гордон, И.А. Пейсахов. – М. : Изд-во "Металлургия", 1978.

**Ляшеник А.В., Тисовский Л.О., Дорундяк Л.М., Дадак Ю.Р., Круна В.М. О влиянии геометрических размеров циклона на его гидравлическое сопротивление**

Исследовано влияние геометрических размеров отдельных частей циклона на гидравлическое сопротивление аппарата. Проанализированы результаты, полученные в результате математического моделирования движения запыленного воздуха в



сепараторе. Определены рациональные соотношения параметров отдельных элементов циклона.

**Lyashenyk A.V., Tysovskyy L.O., Dorundyak L.M., Dadak Yu.R., Kruppa V.M. About influence of geometrical sizes of ciklona on his hydraulic resistance**

Geometric dimensions influence of certain parts of cyclone on hydraulic resistance machine described in this paper. The results from mathematical modeling of air flow in the separator are obtained. Recommended ratio of parameters of separate elements cyclone is determined.

УДК 674.58

*Проф. Н.П. Сунрун<sup>1</sup>, д-р техн. наук;*

*доц. Н.І. Осипенко<sup>2</sup>, д-р техн. наук; асист. Г.В. Озимок<sup>3</sup>, канд. техн. наук*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ІНСОЛЯЦІЇ НА ЯКІСТЬ ПОРТЬЄРНИХ ТКАНИН**

Розглянуто вплив інсоляції як важливого чинника формування споживних властивостей та якості порт'єрних тканин різних виробників. Здійснені дослідження засвідчили, що більша частина зразків порт'єрних тканин мають високі показники міцності на розрив.

Меблево-декоративні тканини завжди були і залишаються вагомим складовою часткою асортименту продукції легкої промисловості. Останніми роками значно розширився асортимент так званого "home textyle" – матеріалів для внутрішнього оздоблення інтер'єру. Вони належать до предметів декоративно-ужиткового мистецтва, мають високу художню цінність і призначені для організації навколишнього середовища за естетичними канонами, практичного використання чи оформлення інтер'єрів індивідуального та громадського призначення.

Важому частку серед меблево-декоративних тканин посідають порт'єрні тканини. Їх зовнішній вигляд та якість є одним із визначальних чинників, який створює імідж та атмосферу затишку як у домашньому інтер'єрі, так і в готельних та ресторанних закладах [1, 2].

Провідні виробники текстилю з США, Італії, Туреччини та інших країн поставляють на світовий ринок та ринок України тканини для оформлення інтер'єру зі специфічними властивостями. Кожний вид таких тканин має свої особливості, що дає змогу формувати вимоги до матеріалу, з якого він виготовлений. Збільшення і розширення використання хімічних волокон і ниток, а також нових барвників і текстильно-допоміжних речовин у виробництві порт'єрних тканин призводить до істотних змін їх якості, що не завжди декларується, або передбачається виробниками [3, 6].

Серед різних чинників зношування порт'єрних тканин велике значення має зношування під дією кліматичних чинників навколишнього середовища: температури, вологості повітря, сонячної радіації, дощу, вітру тощо. Під

<sup>1</sup> Київський НУ університет технологій та дизайну;

<sup>2</sup> Донецький НУ економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського;

<sup>3</sup> Львівський інститут економіки і туризму