

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ ЮВІЛЕЙНОЇ XX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ,



Херсон – 2019

**МАТЕРІАЛИ XX МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ З МАТЕМАТИЧНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ**

**МАТЕРИАЛЫ XX МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО  
МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ**

**MATERIALS OF 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF MATHEMATICAL  
MODELLING**

Збірка матеріалів конференції

**16-20 вересня 2019 року  
Херсон, Україна**

**16-20 сентября 2019 года  
Херсон, Україна**

**September 16-20, 2019  
Kherson, Ukraine**

## **Організатори конференції**

Херсонський національний технічний університет  
Українська асоціація з прикладної геометрії  
Чорноморський національний університет ім. П. Могили (м. Миколаїв)  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна  
Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
Institute of Nuclear Chemistry and Technology (Warsaw)  
Брестський державний технічний університет (м. Брест)  
Херсонська державна морська академія

## **Організаційний комітет:**

**Голова** Бардачов Ю.М. – д.т.н., професор, зав. кафедри ВМ і ММ, ректор ХНТУ;  
**Заступники** Астіоненко І.О. – к.ф.-м.н., доцент кафедри ВМ і ММ ХНТУ;  
**голови** Литвиненко О.І. – к.т.н., доцент кафедри ВМ і ММ ХНТУ.

## **Програмний комітет**

**Голова:** Хомченко А.Н. – д.ф.-м.н., професор, зав. кафедри П і ВМ ЧНУ ім. П. Могили;  
**Заступники** Тулученко Г.Я. – д.т.н., професор кафедри ВМ і ММ ХНТУ;  
**голови:** Рудакова Г.В. – д.т.н., професор, зав. кафедри ТК ХНТУ.

## **Члени комітету:**

Абрамов Г.С. к.ф.-м.н. (Україна);	Найдиш А.В. д.т.н. (Україна);
Андрейцев А.Ю. к.ф.-м.н. (Україна);	Несвідомін В.М., д.т.н. (Україна);
Babichev S.A. PhD (Czech Republic);	Parkes E.J. PhD (UK);
Бень А.П. к.т.н. (Україна);	Петрик М.Р. д.ф.-м.н. (Україна);
Ванін В.В. д.т.н. (Україна);	Пилипака С.Ф. д.т.н. (Україна);
Вахненко В.О. д.ф.-м.н. (Україна);	Підгорний О.Л. д.т.н. (Україна);
Вирченко Ю.П. д.ф.-м.н. (Россия);	Плоский В.О. д.т.н. (Україна);
Гвоздева І.М. д.т.н. (Україна);	Поливода О.В. к.т.н. (Україна);
Гнатушенко В.В. д.т.н. (Україна);	Пугачов Є.В. д.т.н. (Україна);
Guchek P., Dr.Sc. (Poland);	Редчиць Д.О. к.ф.-м.н. (Україна);
Жолткевич Г.М. д.т.н. (Україна);	Рожков С.О. д.т.н. (Україна);
Комяк В.М. д.т.н. (Україна);	Розов Ю.Г. д.т.н. (Україна);
Корчинський В.М. д.т.н. (Україна);	Савіна Г.Г. д.е.н. (Україна);
Куценко Л.М. д.т.н. (Україна);	Самохвалов С.Є. д.т.н. (Україна);
Лазурик В.Т. д.ф.-м.н. (Україна);	Smolarz A. Prof. dr hab. inż. (Poland);
Лебеденко Ю.О. к.т.н. (Україна);	Свешников В.М. д.ф.-м.н. (Россия);
Литвиненко В.І. д.т.н. (Україна);	Смирнов І.В. д.т.н. (Україна);
Ляшенко В.П. д.т.н. (Україна);	Стрельнікова О.О. д.т.н. (Україна);
Мазманішвілі О.С. д.ф.-м.н. (Україна);	Тарасов С.В. к.т.н. (Україна),
Марасанов В.В. д.т.н., (Україна);	Хачапуридзе М.М. к.т.н. (Україна);
Мельник І.В. д.т.н. (Україна);	Човнюк Ю.В. к.т.н. (Україна),
Миргород В.Ф. д.т.н. (Україна);	Шоман О.В. д.т.н. (Україна);
Михайленко В.Є. д.т.н. (Україна);	Шуть В.Н. к.т.н.(Білорусь);
Михальов О.І. д.т.н. (Україна);	Wojcik W. Prof. dr hab. inż. (Poland);
Мусій Р.С. д.ф.-м.н. (Україна);	Zimek Z. PhD (Poland).

У збірнику представлено матеріали ХХ міжнародної конференції з математичного моделювання МКММ-2019, яка відбулася з 16 по 20 вересня 2019 року в ХНТУ і була присвячена актуальним питанням математичного моделювання, прикладної геометрії та інформаційних технологій.

ХХ Міжнародна конференція з математичного моделювання (МКММ-2019) [Збірка тез (16-20 вересня 2019 р., м. Херсон)]. – Херсон: ХНТУ, 2019. – 118 с.

25	<b>О.П. ДЕМ'ЯНЧЕНКО, В.П. ЛЯШЕНКО</b> ТЕПЛОВА УМОВА СПРЯЖЕННЯ У ДВОШАРОВІЙ ОБЛАСТІ	44
26	<b>Г.О. ДИМОВА, В.С. ДИМОВ</b> МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТОРА ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАНКЕЛЕВИХ МАТРИЦЬ	45
27	<b>Д.О. ДМИТРИЄВ, Ю.О. ЛЕБЕДЕНКО, А.А. ОМЕЛЬЧУК, Д.Д. ФЕДОРЧУК</b> ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТВОЛІВ ДЛЯ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ	46
28	<b>О.В. ДОБАРІНА, К.В. БЕГЛОВ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС ПРИ ЗМІНЕННІ ПРОГРАМИ РЕГУЛЮВАННЯ	47
29	<b>Н.Л. ДОРОШ, Л.М. ПЕТРЕЧУК, Т.М. ФЕНЕНКО</b> РОЗРОБКА І ЗАСТОСУВАННЯ НАДБУДОВИ EXCEL ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ	48
30	<b>В.И. ДУБИНКО, А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, Д.В. ЛАПТЕВ</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУННЕЛИРОВАНИЯ ЧАСТИЦЫ В ДВУХЪЯМНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ	49
31	<b>В.І. ДУБРОВІН, О.І. ЮСЬКІВ</b> КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	50
32	<b>С.В. ЄМЕЛЬЯНОВ, Л.С. ФОНАР, М.О. БАРАБАНОВ</b> СИНХРОННО-ГРЕБІНЧАСТИЙ ФІЛЬТР ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ КОМПОНЕНТІВ У ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛАХ РОТОРНИХ МАШИН	51
33	<b>Н.М. ЗАЩЕПКІНА, В.В. ТАРАНОВ, О.А. НАКОНЕЧНИЙ</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНТРОЛЮ РОЗМІРНИХ СПЕКТРІВ ВОСКОВИХ ВКЛЮЧЕНЬ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ВІНТЕРИЗАЦІЇ	52

## МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТОРА ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАНКЕЛЕВИХ МАТРИЦЬ

Вихідні сигнали динамічного об'єкта  $\vec{w}(t)$  після обробки вимірювальною системою є багатомірними часовими рядами:  $\vec{w}(0), \vec{w}(1), \dots, \vec{w}(t)$ .

На їх підставі для структурного упорядкування інформації побудуємо розбиту на блоки (нескінченну в чотирьох напрямках) ганкелеву матрицю [1] для ряду  $\vec{w}(t): Z \rightarrow R^q$

$$\begin{pmatrix} \mathcal{H}_-(\vec{w}) \\ \hline \mathcal{H}_+(\vec{w}) \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & & \\ \dots & \vec{w}(-t-1) & \vec{w}(-t) & \dots & \vec{w}(0) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \\ \dots & \vec{w}(t-2) & \vec{w}(-1) & \dots & \vec{w}(t'-1) & \dots \\ \dots & \vec{w}(-1) & \vec{w}(1) & \dots & \vec{w}(t') & \dots \\ \dots & \vec{w}(0) & \vec{w}(1) & \dots & \vec{w}(t'+1) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \\ \dots & \vec{w}(t-1) & \vec{w}(t) & \dots & \vec{w}(t+t') & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Доведено в роботах [1, 2], що  $\text{rank}(\mathcal{H}_-(\vec{w}); \mathcal{H}_+(\vec{w})) < \infty$  і він дорівнює розмірності мінімального представлення з простором станів  $\Sigma_S(\mathbf{A}', \mathbf{B}', \mathbf{C}', \mathbf{D}')$  найбільш сильної неспростованої (AR)-моделі  $\mathcal{B}(R_w^*)$  часового ряду  $\vec{w}$  (тут (AR) – авторегресійна модель). Для отриманого в результаті обробки спостережуваного часового ряду  $\vec{w}: Z \rightarrow R^q$  та побудованої для системи

$$\begin{aligned} \sigma \vec{x} &= \mathbf{A}' \vec{x} + \mathbf{B}' \vec{u}; \\ \vec{w} &= \mathbf{C}' \vec{x} + \mathbf{D}' \vec{u}. \end{aligned} \quad (2)$$

матриці  $\mathbf{M} \in R^{(n+q) \times (n+m)}$ , яка задає відображення маємо  $\mathbf{M}: \begin{pmatrix} \vec{x}(t_i) \\ \vec{u}(t_i) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \vec{x}(t_i+1) \\ \vec{w}(t_i) \end{pmatrix}$ , де  $\vec{x}(t)$  – вектор стану;  $\vec{u}(t)$  – вектор управління;  $\vec{w}(t)$  – спостережуваний часовий ряд.

Розбивши матрицю  $\mathbf{M}$  на блоки

$$\mathbf{M} := \begin{pmatrix} \mathbf{A}' & | & \mathbf{B}' \\ \hline \mathbf{C}' & | & \mathbf{D}' \end{pmatrix}, \quad (3)$$

так, що  $\mathbf{A}' = R^{n \times n}$ ,  $\mathbf{B}' = R^{n \times m}$ ,  $\mathbf{C}' = R^{q \times n}$  і  $\mathbf{D}' = R^{q \times m}$ , отримаємо модель динамічного оператора  $\Sigma(\mathbf{A}', \mathbf{B}', \mathbf{C}', \mathbf{D}')$ , яка є найбільш сильною неспростованою моделлю з мінімальним простором станів і мінімальним числом входів  $m$  для часового ряду  $\vec{w}(t)$  [2].

**Висновки.** Пропонований метод моделювання оператора динамічної системи на основі властивостей лінійних операторів та упорядкування експериментальних даних за допомогою ганкелевих квадратичних форм і ганкелевих матриць, що дозволяє знайти розв'язки обернених задач динаміки на теоретико-множинному рівні. Розроблена оптимально точна модель (без урахування перешкод), а саме, найбільш сильна неспростована модель в класі лінійних систем.

1. Виллемс Ян К. От временного ряда к линейной системе. Теория систем. Математические методы и моделирование. Сборник статей. Москва: Мир, 1989. 384 с.
2. Калман Р., Фалб П., Арbib М. Очерки по математической теории систем. Москва: Едиториал УРСС, 2004. 400 с.