

**Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**



**XIII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ  
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND TECHNOLOGY**

*23-25 вересня 2021 року*

**ЗБІРНИК ДОКЛАДІВ**



Одеса - 2021

**УДК 621.565; 621.**

Сучасні проблеми холодильної техніки та технології / Збірник тез доповідей XII Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Одеса: ОНТУ, 2021. –196 с.

У збірнику наведені матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології» та розглянуто різні аспекти науково-технічних питань, пов'язаних з проектуванням, виготовленням та експлуатацією холодильного обладнання різного призначення, обладнання кондиціонування повітря, дослідженням робочих тіл та процесів в елементах холодильних та кріогенних систем, застосуванням нано та когенераційних технологій, використанням холоду в харчових технологіях, застосуванням і впровадженням нетрадиційних джерел енергії.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами. За достовірність інформації відповідає автор публікації.

### **НАУКОВИЙ КОМІТЕТ**

**Голова - Єгоров Б.В.** - ректор Одеської національної академії харчових технологій, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор

**Заступники голови**

**Поварова Н.М.** – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій;

**Косой Б.В.** – д.т.н., професор, директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій;

**Члени наукового комітету:**

**Вансєв С.М.**- Сумський державний університет, к.т.н., доцент;

**Семенюк Ю.В.** - зав. кафедрою теплофізики та прикладної екології ОНАХТ, д.т.н., професор;

**Лабай В. Й.** - Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор;

**Лавренченко Г.К.** – д.т.н., професор;

**Мілованов В.І.** - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор;

**Морозюк Л.І.** - д.т.н., професор;

**Потапов В. О.** - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

**Радченко М.І.** - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

**Симоненко Ю.М.** - зав. кафедрою криогенної техніки ОНАХТ, д.т.н., професор;

**Хмельнюк М.Г.** - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

### **Організаційний комітет:**

**Голова** - проф. Хмельнюк М.Г.;

**Науковий секретар** - к.т.н. доц. Жихарева Н.В.

**Члени оргкомітету** - к.т.н. Зімін О.В., к.т.н. Когут В.О., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Трандафілов В.В., к.т.н. Грудка Б.Г., аспірант Дудко О.М., аспірант Крушельницький Д.О.

- теплова потужність першого низькопотенційного джерела тепла  $Q_{01} = 50$  кВт;
- теплова потужність другого низькопотенційного джерела тепла  $Q_{02} = 150$  кВт;
- температура кипіння у першому випарнику  $t_{01} = -35$  °С;
- температура кипіння у другому випарнику  $t_{02} = -10$  °С;
- температура конденсації або мінімальна температура у газовому охолоджувачі  $t_k = 50$  °С.

Результатом моделювання є розв'язання «енергетичної» та «транспортної» задач. Розрахунки проведено для шести схемно-циклових рішень. Термодинамічний аналіз дійсних циклів показує низьку енергетичну ефективність одноступеневих циклів в режимі теплового насосу з двома низькопотенційними джерелами тепла. Найвища ефективність у машини, яка працює за циклом двоступеневого стиснення з двома випарниками та детандером перед другим випарником.

Порівняльний аналіз результатів може констатувати, що габарит циклу з CO<sub>2</sub> втричі менший за R404A, але при цьому ефективна потужність компресорів з CO<sub>2</sub> удвічі перевищує потужність компресорів з R404A. Термодинамічний аналіз циклів як незалежний експерт підтвердив результати, наведені різними авторами в технічній літературі.

1. Морозюк Л. І., Соколовська-Єфименко В. В., Гайдук С. В., Бодюл О. С. Термодинамічний аналіз циклів машин когенерації комерційного призначення // Холодильна техніка та технологія. – 2020. – Т. 55.–№5-6.–С.263-272



УДК: 621.57

### **МОДЕЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОДАВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА TAG 2513Z**

*Кравченко М.Б., доктор техн. наук, Кокул С.В., аспірант каф. криогенної техніки  
ОНАХТ, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, Україна*

Для моделювання холодильних установок, що працюють на неазеотропних сумішах холодильних агентів необхідно враховувати особливості роботи компресорів об'ємної дії. Коефіцієнт подавання поршневого компресора залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є ступінь стиснення і тиск нагнітання компресора.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі, у вигляді аналітичного виразу, для визначення об'ємного подавання компресора TAG 2513Z виробництва фірми Tecumseh. Побудова такої математичної моделі дозволить коректно провести оптимізацію холодильної установки, призначеної для отримання температур нижче 120 К. Для отримання таких низьких температур при одноступеневому стисненні холодильного агента в якості робочої речовини зазвичай використовуються неазеотропні суміші холодильних агентів, що включають 4-5 компонентів.

У холодильних установках, що працюють на чистих речовинах установлення температур кипіння і конденсації автоматично визначає тиску на всмоктуванні і нагнітанні компресора. При роботі холодильних установок на неазеотропних сумішах холодильних агентів тиск на всмоктуванні і нагнітанні компресора, поряд зі складом холодильної суміші, є додатковими параметрами оптимізації. Якщо врахувати, ту обставину, що коефіцієнт подавання компресора сильно залежить від тиску на всмоктуванні і нагнітанні цього компресора, то завдання підбору складу робочої суміші, що забезпечує максимум холодопродуктивності при використанні певного компресора, стає важко вирішуваною.

Тому, для підбору оптимального складу суміші холодильних агентів, які забезпечують отримання максимуму холодопродуктивності на заданому температурному рівні при використанні компресора TAG 2513Z, треба було дати математичний опис залежності коефіцієнта подавання цього компресора

**Матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції  
«Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», 23 по 25 вересня 2021**

від ступеня стиснення і тиску нагнітання. Побудова математичної моделі вироблялася з використанням даних про холодопродуктивність і споживану потужність компресора TAG 2513Z при його роботі на фреоні R404a, наданих фірмою-виробником (див. рис. 1).

TAG2513Z		Tension T : 400V 3~ 50Hz		R404A	N°127DU-T	Ind b		
The performance data are in EN 12900 conditions :				Return gas :		20°C		
				Subcooling :		0°K		
<b>50 Hz R404A</b>								
4   T condensation	5   T évaporation (°C)	<b>-40</b>	<b>-35</b>	<b>-30</b>	<b>-25</b>	<b>-20</b>	<b>-15</b>	<b>-10</b>
<b>30</b>	1   P frigorifique (W)	1428	2212	3184	4389	5848	7565	9573
	2   P absorbée (W)	1387	1755	2125	2498	2878	3257	3643
	3   I absorbée (A)	3.36	3.71	4.09	4.52	4.99	5.5	6.04
<b>40</b>	1   P frigorifique (W)	872	<b>1634</b>	2358	3367	4585	6035	7740
	2   P absorbée (W)	1213	<b>1631</b>	2057	2492	2937	3392	3858
	3   I absorbée (A)	3.13	<b>3.66</b>	4.62	4.52	5.06	5.65	6.27
<b>50</b>	1   P frigorifique (W)		912	1578	2393	3381	4565	5967
	2   P absorbée (W)		1414	1896	2383	2905	3433	3978
	3   I absorbée (A)		3.29	3.84	4.42	5.04	5.7	6.4
<b>60</b>	1   P frigorifique (W)			882	1504	2282	3181	4282
	2   P absorbée (W)			1628	2186	2765	3366	3960
	3   I absorbée (A)			3.56	4.21	4.91	5.65	6.43

Рис. 1 Дані заявлені фірмою-виробником

Знаючи температури конденсації і кипіння холодильного агента, можна визначити об'ємну холодопродуктивність установки і об'ємне подавання компресора при різних тисках на всмоктуванні і нагнітанні компресора. У матеріалах фірми-виробника приведена величина об'єму, що описується 3-ма поршнями компресора TAG 2513Z за один оберт його валу - 100,7 см<sup>3</sup>. За цими даними можна визначити коефіцієнт подавання компресора в кожному з 7 режимів роботи, описаних в матеріалах фірми-виробника.

На рис. 2 наведені розрахункові графіки, що показують залежність COP від температури кипіння холодильної установки, що працює на фреоні R404a при температурі конденсації 30 °С, і залежність коефіцієнта подавання компресора TAG 2513Z. З графіків видно, що COP холодильної установки має максимум при температурі кипіння -20°C. Залежність коефіцієнта подавання компресора від температури кипіння холодоагенту вийшла монотонною, тому що при зниженні температури кипіння падає тиск на всмоктуванні компресора і збільшується ступінь стиснення холодоагенту. Як відомо при збільшенні ступеня стиснення поршневого компресора різко падає коефіцієнт подавання, що враховує вплив «мертвого простору». Тому при зниженні температури кипіння зменшується коефіцієнт подавання компресора і падає холодопродуктивність установки.

На рис. 3 наведені графіки, що показують як, залежить коефіцієнт подавання компресора TAG 2513Z при різних температурах випаровування і конденсації. З наведених графіків видно, що при підвищенні температури конденсації холодоагенту коефіцієнт подавання компресора помітно падає. Вид отриманих графіків говорить про складний і нелінійний характер залежності коефіцієнта подавання компресора від температур кипіння і конденсації холодоагенту

На рис. 4 наведено графік залежності коефіцієнта подавання компресора від ступеня стиснення і тиску нагнітання компресора TAG 2513Z.

Розрахункові значення коефіцієнтів подавання і ступеня стиснення при різних температурах конденсації наведені в таблиці 1.

Як видно з наведеного графіка, залежність коефіцієнта подавання компресора від ступеня стиснення

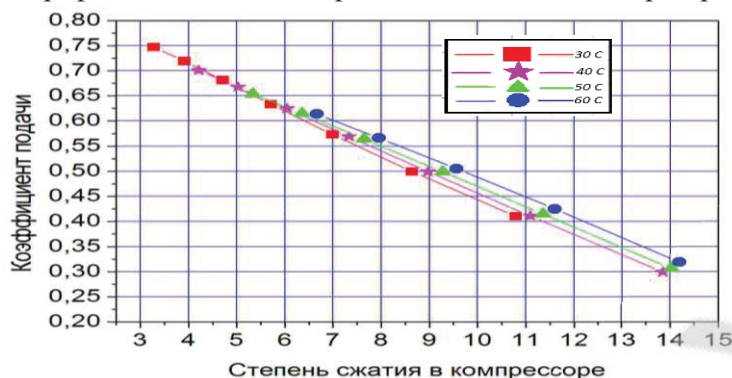


Рис. 4. Залежності коефіцієнта подавання компресора від

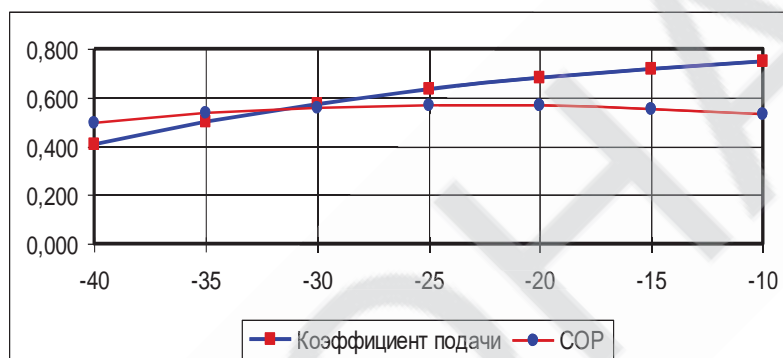


Рис. 2 Залежності COP від температури кипіння і коефіцієнта подавання

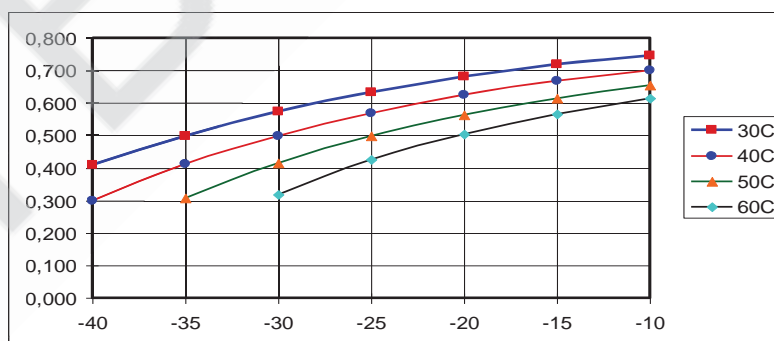


Рис. 3 Залежність коефіцієнта подавання компресора при різних температурах кипіння

вийшла практично лінійною.

Залежність коефіцієнта подавання компресора від тиску нагнітання (температури конденсації холодоагенту) вийшла порівняно слабкою. У першому наближенні, залежністю коефіцієнта подавання від тиску і температури нагнітання можна знехтувати.

**Таблиця 1. Розрахункові значення коефіцієнтів подачі і ступеня стиснення при різних температурах конденсації**

$\eta$ (30 C)	10,799	8,645	6,994	5,714	4,712	3,918	3,283
$\xi$ (30 C)	0,433	0,521	0,586	0,635	0,669	0,694	0,709
$\eta$ (40 C)	13,855	11,091	8,973	7,331	6,045	5,027	4,213
$\xi$ (40 C)	0,249	0,342	0,416	0,474	0,521	0,557	0,584
$\eta$ (50 C)	14,031	11,352	9,275	7,647	6,359	5,329	
$\xi$ (50 C)	0,255	0,346	0,416	0,470	0,512	0,545	
$\eta$ (60 C)	14,197	11,599	9,564	7,953	6,665		
$\xi$ (60 C)	0,266	0,354	0,421	0,472	0,512		

В результаті апроксимації експериментальних даних лінійною залежністю за методом найменших квадратів отримана наступна залежність:

$\eta = a \cdot \xi + b$   
де,  $\eta$  - коефіцієнт подавання;  $\xi$  - ступінь стиснення.

Виходячи з цієї залежності, отримуємо наступні коефіцієнти:  $a = -0,0453$ ;  $b = 0,894$

В результаті дослідження залежності коефіцієнта подавання холодильного компресора TAG 2513Z від різних факторів була виведена практично лінійна залежність коефіцієнта подавання компресора від ступеня стиснення. Це дозволяє отримати просту аналітичну залежність для коефіцієнта подавання компресора від ступеня стиснення, придатну для проведення технічних розрахунків.

#### **Список використаної літератури**

1. Технічна характеристика компресора TAG 2513Z виробництва фірми Tecumseh: <https://www.tecumseh.com/globalassets/media/north-america/files/marketing-brochures/tecumseh-ag-compressor-information-package-14-09-01-en.pdf>

**УДК:621.57**

### **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА БАЗІ КОМПРЕСОРА TAG 2513Z**

*Кравченко М.Б., доктор техн. наук, Кокул С.В., аспірант каф. криогенної техніки  
ОНАХТ, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, Україна*

У доповіді викладено спосіб і результат оптимізації складу робочого тіла і режиму роботи холодильної машини, що працює на неазеотропній суміші холодильних агентів. Оптимізація проводилася з використанням восьмифакторного чисельного експерименту.

Схема холодильної установки, що оптимізується приведена на рис. 1. Установка складається з компресора TAG 2513Z (Compr\_1), повітряного теплообмінника для зняття перегріву (Cooler\_1), ракуперативного теплообмінника (Cooler\_2-Heater\_1), сепаратора фаз (Flesh\_4), першого дросельного вентиля (Velve\_1), змішувача (Mixer\_1), основного теплообмінника (Cooler\_3-Heater\_13), основного дроселя (Velve\_2) і випарника (Heater\_0).

В якості цільової функції для оптимізації режиму роботи установки обраний максимум холодопродуктивності на температурному рівні в 120 К, який можна досягти при використанні компресора TAG 2513Z виробництва фірми Tecumseh. Як змінні параметри обрані наступні: концентрації азоту, метану, етану і пропану в суміші, на якій працює установка, тиск нагнітання компресора, тиск всмоктування компресора, температура холодильного агента на вході в сепаратор

	<b>СЕРЕДОВИЩА</b>	
	<i>Селіванов А.П., викладач вищої категорії, Одеський технічний коледж, Тітлов О.С., завідувач кафедри, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
45	<b>РОЗРОБКА СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ І РІЧКОВИХ СУДЕН НА БАЗІ АБСОРБЦІЙНИХ ВОДО АМІАЧНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГРЕГАТИВ З ВТОРИННИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ</b>	141
	<i>Адамаєв Д.Б., аспірант, Тітлов О.С., завідувач кафедри, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
46	<b>ПОШУК ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ</b>	142
	<i>Березовська Л.В., аспірантка, Тітлов О.С., завідувач кафедри, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
47	<b>ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ</b>	145
	<i>Гратій Т.І., аспірантка, Тітлов О.С., завідувач кафедри, Одеська національна академія харчових технологій, Одеса</i>	
48	<b>ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬВ УКРАЇНІ ТА СВІТІ</b>	148
	<i>Ткач Сергій аспірант ОНАХТ</i>	
49	<b>СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НА ПРИРОДНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ АГЕНТАХ</b>	151
	<i>Сазанський А.Р., аспірант Хмельнюк М.Г. дтн. проф. ІКХЕ, ОНАХТ</i>	
50	<b>ДО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА МОРСЬКИХ СУДАХ</b>	153
	<i>Кіценко А.Р., аспірант. ІКХЕ, ОНАХТ</i>	

**СЕКЦІЯ №2 –НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ХОЛОДИЛЬНІ І КРІОГЕННІ МАШИНИ**

1	<b>ВИЯВЛЕННЯ ТА УСУНЕННЯ ОТРУЙНОЇ ДІЇ ПРОЦЕСУ ВАКУУМУВАННЯ НА ТЕПЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРІОПОСУДУ</b>	155
	<i>Жунь Г.Г., д.т.н., професор, Старіков В.В., Борщ О.С., НТУ “ХПІ”, м. Харків</i>	
2	<b>СХЕМНЕ РІШЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ АМІАКУ ВИСОКОЇ ЧИСТОТИ</b>	159
	<i>Морозюк Л.І., д.т.н., професор, Симоненко Ю.М., д.т.н., професор, Костенко Є.В., аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
3	<b>МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНИХ ЗРІДЖУВАЧІВ ГЕЛІЮ</b>	160
	<i>Бондаренко В.Л., д.т.н., професор, Симоненко Ю.М., д.т.н., професор, Чігрін А.О., інженер, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
4	<b>ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ВИРОБНИЦТВІ РІДКІСНИХ ГАЗІВ</b>	161
	<i>Бондаренко В.Л., д.т.н., професор, Симоненко Ю.М., д.т.н., професор, Медушевський Є.В., ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
5	<b>ДО РОЗРАХУНКІВ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛІВ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ З ДВОМА НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА</b>	161
	<i>Соколовська-Єфименко В.В., к.т.н., доцент, Грудка Б.Г, к.т.н., ст.викладач, Басов А.М., викладач-стажист, аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
6	<b>МОДЕЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОДАВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО КОМПРЕСОРА TAG 2513Z</b>	162
	<i>Кравченко М.Б., д.т.н., професор, Кокул С.В., аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	
7	<b>ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ НА БАЗІ КОМПРЕСОРА TAG 2513Z</b>	165
	<i>Кравченко М.Б., д.т.н., професор, Кокул С.В., аспірант, ІКХЕ ОНАХТ, м. Одеса</i>	

*Матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції  
«Сучасні проблеми холодильної техніки і технології», 23 по 25 вересня 2021*

**Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**

**XIII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
КОНФЕРЕНЦІЯ**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И  
ТЕХНОЛОГИИ  
MODERN PROBLEMS OF REFRIGERATION EQUIPMENT AND  
TECHNOLOGY**

*23-25 вересня 2021 року*

**ЗБІРНИК ДОКЛАДІВ**

Одеса - 2021