

ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ГІПЕРМАРКЕТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Наведені результати розрахунків схеми та обладнання системи теплопостачання гіпермаркету з використанням теплових втрат холодильної установки та електричних трансформаторів. Показана доцільність використання теплових насосів для забезпечення теплофікаційних потреб гіпермаркету.

Ключові слова: холодильна установка, електричний трансформатор, теплонасосна установка, теплопостачання, дисконтовані затрати.

Abstract

The results of calculations of the scheme and equipment of the heat supply system of the hypermarket using heat losses of the refrigeration unit and electrical transformers are presented. The expediency of using heat pumps to meet the heat supply needs of the hypermarket has been demonstrated.

Keywords: refrigeration unit, electric transformer, heat pump installation, heat supply, discounted costs.

Вступ

В холодильній установці гіпермаркету теплота від охолоджуваних продуктів підводиться до води, яка в градирні охолоджується повітрям навколишнього середовища. Електричні процеси в трансформаторах супроводжуються їх нагрівом. Охолоджуються трансформатори маслом, теплота від якого відводиться також до повітря навколишнього середовища. Є доцільним використання цієї скидної теплоти в системі теплопостачання гіпермаркету. Це можна зробити за допомогою теплових насосів, які є досить дорогими. Метою роботи є визначення доцільності встановлення теплових насосів за допомогою порівнянням затрат на існуючу та модернізовану тепловими насосами систему теплопостачання гіпермаркету.

Основна частина

Визначимо затрати на газ існуючої системи забезпечення підприємства гарячою водою для теплофікації та технологічних потреб. В котельні підприємства встановлені 4 газових котла по 100 кВт з ККД 88 % та витратою газу 11,5 м³/год. Визначимо річні затрати на газ котельні Z_{gas} при термінах періодів максимально-опалювального $\tau_{mo}=560$ годин, середньо-опалювального періоду $\tau_{so}=3700$ годин, неопалювального періоду $\tau_{no}=4500$ годин. Ціна газу – 11,8 грн/м³. При максимально-опалювальному періоді працюють 4 котла, середньо-опалювальному – 3 котла, в неопалювальний період працює 1 котел. Результати розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Річні затрати на газ

Опалювальний період	Річна витрата газу $V_{газ}$, м ³	Річні затрати на газ $Z_{газ}$, грн.
Максимальний	25 760	304 000
Середній	127 650	1 506 300
Неопалювальний	51 750	610 650
Сума	205 160	2 421 000

Отже, річні затрати підприємства на газ котельні складають 2,421 млн. грн. Визначимо затрати на теплофікацію з використанням скидного тепла холодильної установки. Розрахункова схема використання скидного тепла для теплопостачання наведена на рис. 1.

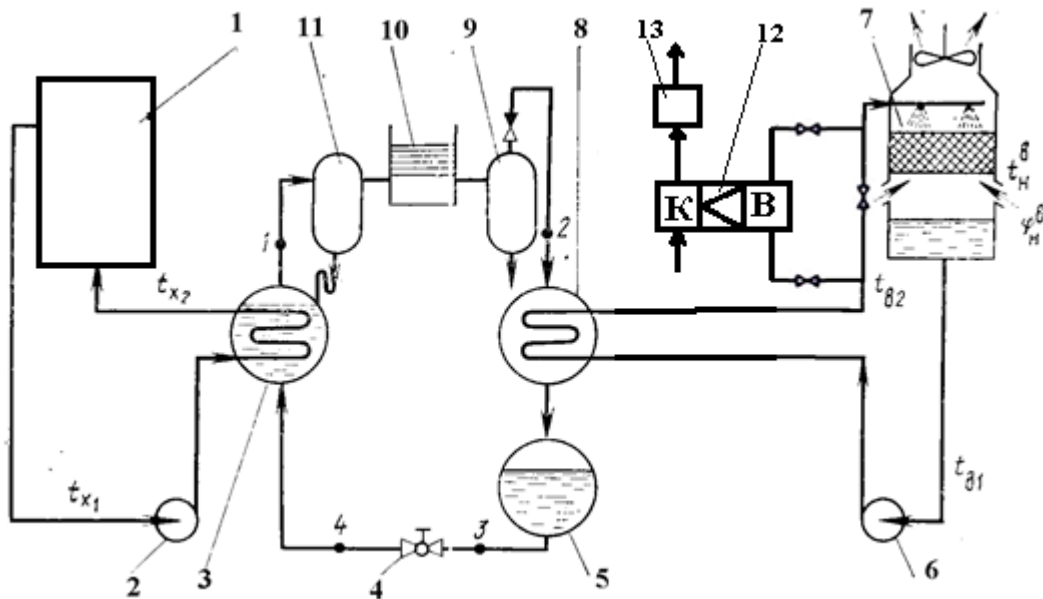


Рис.1. Схема компресійної парової холодильної установки з ТНУ
 (1 – морозильна камера; 2 – насос для циркуляції холодоносія; 3 – випарник; 4 – дросельний пристрій; 5 – ресивер; 6 – насос для циркуляції води; 7 – вентиляторна градирня; 8 – конденсатор; 9 – маслоохолодник; 10 – компресор; 11 – відділювач рідини; 12 – тепловий насос; 13 – догрівач)

Холодоносій (розсіл) надходить в морозильну камеру 1, нагрівається в ній та прямує у випарник 3, в якому віддає теплоту холодоагенту, який випаровується. Пара холодоагенту з випарника стискається в компресорі 10, стає перегрітою і конденсується в конденсаторі 8. Рідина надходить в дросельний пристрій 4, який знижує тиск та частково випаровується. Суміш пари і рідини холодоагенту з температурою насичення відповідно тиску за дросельним пристроєм прямує у випарник 3. В конденсаторі 8 парою холодоагенту гріється вода, яка охолоджується повітрям в градирні 7. В ТНУ теплота від оборотної води у випарнику В підводиться до холодоагенту і в конденсаторі К холодоагентом передається мережній воді системи теплофікації підприємства. Після теплового насосу (ТНУ) 12 мережна вода догрівається до потрібної температури у догрівачеві 13. Початкові дані для розрахунків схеми з ТНУ наступні. Потужність холодопродуктивності холодильної установки: $Q_0 = 750$ кВт. Холодоагент аміак (R717). З розрахунку схеми визначено, що теплова потужність всіх градирень з урахуванням теплоти систем охолодження механізмів підприємства Q_{gr} складає 1176,36 кВт. На підприємстві встановлено чотири градирні з максимальною потужністю 372 кВт кожна. Потужність електродвигуна водяного насосу кожної градирні складає 5,5 кВт. Потужність електродвигуна вентилятора 6,4 кВт. Максимальна потужність теплофікації 400 кВт. Приймаємо, що ціна електроенергії $c_{ee} = 3$ грн/кВт·год.

Спочатку виберемо холодоагент для ТНУ аміак та фреон. Розрахунки виконані за допомогою відомої програми FKW Cycle. Параметрами, які задаються, є температура конденсації холодоагенту t_{kond} , температура нижнього джерела теплоти t_{obor} , потужність теплоти конденсації Q_{kond} . Визначаються потужність теплоти відведеної від нижнього джерела Q_{obor} , потужність компресора N_{kompr} , показник ефективності ТНУ COP.

Результати розрахунків ТНУ на аміаку та фреоні наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики холодоагентів

	Холодоагент	$t_{kond}, ^\circ\text{C}$	$t_{obor}, ^\circ\text{C}$	$Q_{kond}, \text{кВт}$	$Q_{obor}, \text{кВт}$	$N_{kompr}, \text{кВт}$	COP
1	Аміак	60	28	400	305	86,64	3,5
2	Фреон R134A	60	28	400	280	98,6	2,84
3	Фреон R407C	60	28	400	289	90,7	3,19
4	Фреон R22	60	28	400	292	90,2	3,2

Як видно з таблиці, найменшу потужність приводу компресора має аміачна ТНУ. Холодильна установка підприємства також аміачна. Тому приймаємо за холодоагент ТНУ аміак.

Воду з ТНУ можна догрівати в газовому догрівачеві, наприклад, у водогрійному котлі. Визначимо потужність компресора ТНУ при теплових навантаженнях ТНУ та догрівача відповідно, кВт: 250 та 150; 300 та 100; 350 та 50; 400 і 0. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунків аміачної ТНУ при різних температурах конденсації аміаку

	$t_{obor}, ^\circ\text{C}$	$t_{kond}, ^\circ\text{C}$	$Q_{kond}, \text{кВт}$	$Q_{obor}, \text{кВт}$	$N_{kompr}, \text{кВт}$	COP	$Q_{dogr}, \text{кВт}$
1	28	45	250	208	37	5,6	150
2	28	50	300	243	51	4,8	100
3	28	55	350	276	67	4,1	50
4	28	60	400	305	86,6	3,5	0

Визначимо затрати на електроенергію та газ для ТНУ з догрівачем при наведених температурах конденсації аміаку в максимальний зимовий період роботи, таблиця 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків затрат на електроенергію та газ для ТНУ з догрівачем в максимальний зимовий період роботи

	$t_{kond}, ^\circ\text{C}$	Затрати на електроенергію приводу компресора, грн	Затрати на газ догрівача, грн	Сумарні затрати
1	45	62160	114000	176160
2	50	85680	75992	161672
3	55	112560	38000	150560
4	60	145000	0	145000

Як видно з таблиці 4, сумарні затрати на електроенергію та на газ найменші при відсутності догрівача та максимальному навантаженні ТНУ.

Визначимо потужності компресора в опалювальні періоди, таблиця 5.

Таблиця 5 – Потужності компресора ТНУ в опалювальні періоди

	Опалювальні періоди	$t_{kond}, ^\circ\text{C}$	$t_{obor}, ^\circ\text{C}$	$Q_{kond}, \text{кВт}$	$Q_{obor}, \text{кВт}$	$N_{kompr}, \text{кВт}$	COP
1	Максимальний зимовий	60	28	400	305	86,66	3,5
2	Середній	60	28	300	230	65,5	3,5
3	Літній	60	28	100	77	22	3,5

За результатами розрахунку річні затрати на електроенергію ТНУ складають 1169000 грн. Річна економія експлуатаційних затрат після впровадження ТНУ дорівнює 1252000 грн. Капіталовкладення в ТНУ оцінені в 24000000 грн.

Визначимо техніко-економічні показники схеми для регенерації скидного тепла холодильної установки за методикою [2]. Початкові дані до розрахунків наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Початкові дані

Показники	Позначення	Значення показника
1. Капіталовкладення, млн. грн.	K	2,4
Вартість економії енергії, млн. грн.	ΔE	1,25
2. Річна норма амортизації основних засобів, %	N_A	12,5
3. Норма відрахувань на тепло обслуговування і ремонт	N_P	7,0
4. Ставка податку на прибуток, %	C_{np}	30,0
5. Ставка податку на майно, %	$C_{ни}$	2,0
6. Норма дисконту, %	E	10,0

Результати розрахунків техніко-економічні показників схеми для регенерації скидного тепла холодильної установки наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Техніко-економічні показники схеми для регенерації скидного тепла холодильної установки

Найменування	Значення
Амортизація основних засобів, млн. грн.	0,3
Витрати на техобслуговування та ремонт, млн. грн.	0,168
Економія поточних витрат (приріст прибутку), млн. грн.	0,783
Приріст чистого прибутку підприємства, млн. грн.	0,5481
Річний дохід інвестиційного проекту, млн. грн.	0,8481
Чистий дисконтований дохід проекту, млн. грн.	2,12
Індекс прибутковості проекту	1,88
Статичний термін окупності, років	2,83
Динамічний термін окупності, років	3,5

Джерелом електричної енергії для підприємства є підстанція. Теплофікацію будівлі підстанції забезпечує водяний електронагрівач. Трансформатори підстанції охолоджуються маслом, теплота якого скидається в повітря. Є доцільним розглянути варіант використання скидного тепла трансформаторів для теплофікації будівлі підстанції за допомогою ТНУ.

Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання наведена на рис. 2.

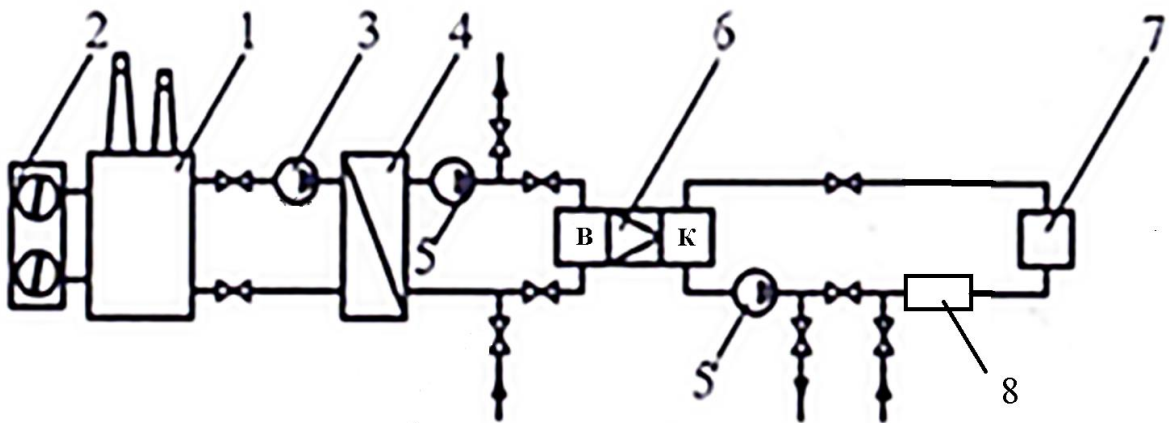


Рис. 2. Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання (1 – трансформатор; 2 – охолоджувач; 3 – масляний насос; 4 – теплообмінник масло-вода; 5 – водяний насос; 6 – теплонасосна установка (ТНУ); 7 – споживач тепла; 8 – електронагрівач)

Схема містить три контури. В першому контурі теплота від трансформатора передається маслу. В другому контурі теплота від масла в масло-водяному теплообміннику передається воді. В третьому контурі теплота від води у випарнику ТНУ передається фреону. Фреон також нагрівається в процесі стискування в компресорі ТНУ. Далі теплота фреону в конденсаторі ТНУ передається воді, яка догрівається в електричному нагрівнику і надходить споживачу.

При заданій тепловій потужності Q системи теплопостачання (СТП) вода нагрівається відведеним від трансформатора теплом в теплообміннику до температури T_1 , далі нагрівається в ТНУ до температури T_x , догрівається в електронагрівачеві до заданої температури теплопостачання T_{gvp} .

Приведені затрати на СТП Z_{Σ} визначаються, як сума затрат на теплообмінник Z_{to} , електроенергію приводів масляного та водяного насосів Z_{eemn} та Z_{eenv} , електроенергію приводу ТНУ Z_{eetmu} , електроенергію догрівача Z_{eed} , затрат на придбання ТНУ Z_{tmu} та догрівача Z_d .

$$Z_{\Sigma} = Z_{to} + Z_{eemn} + Z_{eenv} + Z_{eetmu} + Z_{eed} + Z_{tmu} + Z_d \quad (1)$$

Затрати Z_{Σ} є функцією температури T_x . Необхідно дослідити вплив температури T_x на затрати Z_{Σ} та визначити термін окупності схеми СТП. Початкові дані наступні. Встановлена потужність Q системи

теплопостачання (СТП) 20 кВт. Температуру гарячої води $T_{гр}$ на виході з СТП 60 °С. Число годин τ роботи СТП на встановленій потужності 6500. Теплова потужність втрат трансформатора складає 9 кВт. Розрахунки виконані за методикою [1]. Результати розрахунків потужностей ТНУ при температурах води на виході з ТНУ 40, 50, 60 та 70 °С наведені в таблиці 8.

Таблиця 8 – Результати розрахунку потужностей ТНУ

Температура води на виході з ТНУ, °С	Теплова потужність ТНУ, $N^{ТНУ}$, кВт	Електрична потужність приводу ТНУ $N^{ЕТНУ}$, кВт	COP
40	11,33	1,96	4,48
50	12,04	2,61	3,37
60	12,91	3,41	2,58
70	14,04	4,44	1,98

Результати розрахунків сумарних приведених затрат, грн/рік та їх складових на систему теплопостачання при температурах води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 градусів при питомих вартостях електроенергії та ТНУ 3 грн/кВт·год та 6000 грн/кВт відповідно наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Результати розрахунків сумарних приведених затрат, грн/рік та їх складових на систему теплопостачання при температурах води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 градусів

№	Складова системи теплопостачання	Без ТНУ	40	50	60
1	1 контур. Масловодяний теплообмінник	1000	1000	1000	1000
2	Маслонасос	300	300	300	300
3	Енергію приводу маслонасоса	14700	14700	14700	14700
4	2-й контур. Водяний насос.	200	200	200	200
5	Енергію приводу водяного насоса	7350	7350	7350	7350
6	3-й контур ТНУ	0	68000	72240	77460
7	Енергію приводу компресора	0	38220	50895	66495
8	Водяний насос	0	500	500	500
9	Енергію приводу водяного насоса	0	4193	4193	4193
10	Електродогрівач	2000	8670	7960	0
11	Електроенергію догрівача	390000	16906	15522	0
12	Сумарні затрати	415550	160093	182210	172198

Як видно з таблиці, найменші приведені затрати відповідають нагріву в ТНУ до 40 градусів.

Результати розрахунків сумарних затрат на систему теплопостачання при питомих вартостях електроенергії 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6 грн/кВт·год наведені на рис. 3.

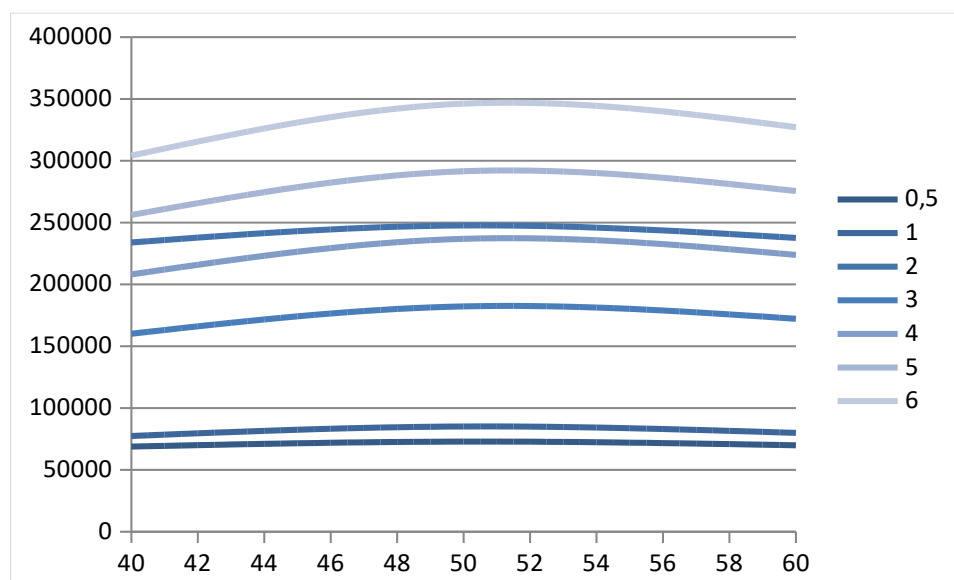


Рис. 3. Залежності сумарних приведених затрат на систему теплопостачання від температури води на виході з ТНУ, °С, при різних питомих вартостях електроенергії

Результати розрахунків сумарних приведених затрат на систему тепlopостачання при питомих вартостях ТНУ 500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000 грн/кВт наведені на графіках рис.4.

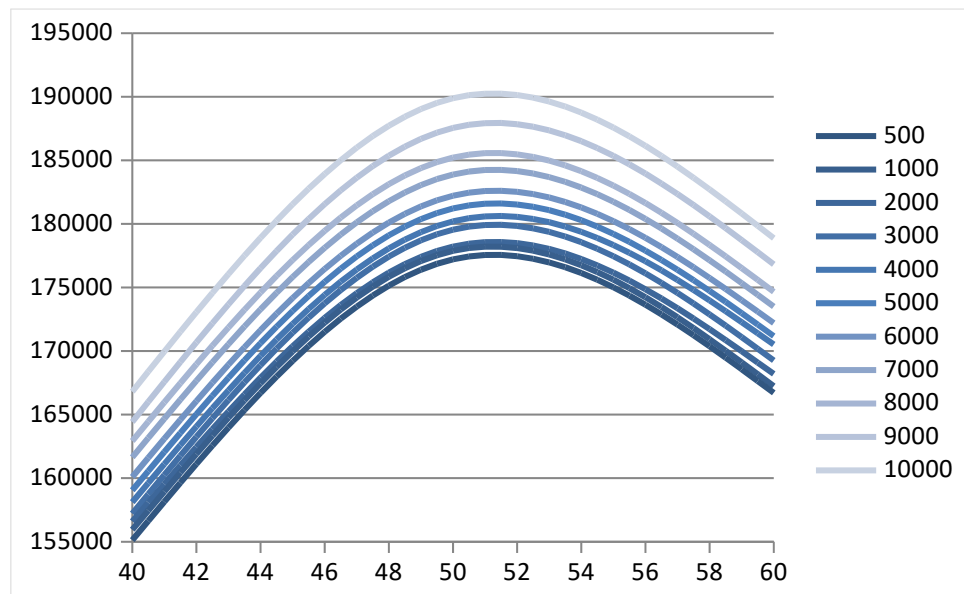


Рис. 4. Залежності сумарних приведених затрат, грн/рік, на систему тепlopостачання від температури води на виході з ТНУ, °C, при різних питомих вартостях ТНУ

З рис. 3 та 4 видно, що на доцільність мінімального нагріву води в ТНУ і догрівання її в електронагрівачеві питомі вартості електроенергії та ТНУ не впливають.

Техніко-економічні показники схеми використання скидного тепла трансформатора для тепlopостачання наведені в таблиці 10.

Таблиця 10 – Техніко-економічні показники схеми використання скидного тепла трансформатора для тепlopостачання

Показники	Значення показника
Капіталовкладення в обладнання схеми, грн	89300
Затрати на електроенергію Z_{eetm} приводів насосів та компресора ТНУ, грн/рік	234 000
Затрати на електроенергію Z_{eesh} електронагрівника в існуючому варіанті, грн/рік	390 000
Вартість економії електроенергії, грн/рік	156 000
Термін окупності, років	0,6

Висновки

1. Всі розраховані критерії ефективності схеми регенерації скидного тепла холодильної установки задовольняють умовам доцільності інвестиційного проекту:

- чистий дисконтований дохід $ЧДД$ більше 0;
- індекс прибутковості PI більше 1;
- внутрішня норма доходу $ВНД$ більше 10%
- динамічний термін окупності T_o менше 8 років.

2. Термін окупності схеми з ТНУ для регенерації скидного тепла електротрансформатора для заданих вихідних даних складає менше одного року.

3. При наявності електронагрівача доцільними є мінімальний нагрів води в ТНУ і максимальний догрів в електронагрівачеві. Догрівати воду в газовому нагрівнику типу водогрійного котла малої потужності не вигідно. Краще воду гріти повністю в ТНУ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко О. М. Система гарячого водопостачання з використанням скидного тепла трансформатора [Електронний ресурс] / О. М. Головченко, О. М. Нанака, В. П. Біленький // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів

ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4022>.

2. Данилова О. Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / под общ. ред.: О. Л. Данилова, П. А. Костюченко. – М. : ЗАО "Технопромстрой", 2006. – 668 с.

Головченко Олексій Михайлович – к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Олена Миколаївна Нанака – к. т. н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизація в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Матат Олександр Сергійович – студент 2 курсу, групи ЕМ-18м. Факультет електроенергетики та електромеханіки.

Oleksiy M. Golovchenko – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Olena M. Nanaka – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation in Industry and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Oleksandr S. Matat – student of the group EM-18m, Department of Electroenergy and Electromechanics.