

ОПИС ЗАВЕРШЕНОЇ РОЗРОБКИ

Розроблення техніко-технологічних схем та систем керування теплозабезпечення населених пунктів на основі термодинамічних підходів

Разработка технико-технологических схем и систем управления теплообеспечения населенных пунктов на основе термодинамических подходов

Development of technical and technological schemes and control systems of heating systems based on thermodynamic approaches

1. **Номер державної реєстрації 0120U102168**
2. **Науковий керівник – д.т.н., проф. Волощук В.А., Волощук В.А., Voloshchuk V.A.**
3. **Суть розробки, основні результати.**

(Укр.) Розроблено та удосконалено методологічне, математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення для обґрунтування структури, параметрів, режимів роботи нових і вдосконалених рішень в системах теплозабезпечення населених пунктів на основі залучення відновлюваних джерел енергії та енергоефективних технологій (будинки з низьким споживанням енергії, низькотемпературні системи опалення та високотемпературні систем охолодження, теплонасосні та когенераційні установки, акумулятори теплоти, тощо). Вдосконалено критерії поєднання ексергетичного, економічного та екологічного оцінювання (традиційного та поглибленого) систем теплозабезпечення з урахуванням змінних режимів роботи компонентів системи та різного співвідношення параметрів відліку (вище, нижче, перетинає), відносно яких розраховуються критерії ексергетичного аналізу. Розроблено та реалізовано математичні та комп'ютерні моделі перспективних та інноваційних рішень в системах теплозабезпечення, методи та засоби реалізації цих моделей з урахуванням запропонованих критеріїв ексергетичного оцінювання та із застосуванням сучасних інформаційних технологій («хмарні» розрахунки, цифрові «двійники», предиктивна діагностика та керування, тощо). На основі реалізованих чисельних досліджень обґрунтовано параметри, структуру, характеристики, технічні й технологічні рішення систем теплозабезпечення на етапах їх створення та оперативного керування для підвищення їх енергетичної, економічної та екологічної ефективності.

(Рос.) Разработано и усовершенствовано методологическое, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение для обоснования структуры, параметров, режимов работы новых и усовершенствованных решений в системах теплообеспечения населенных пунктов с использованием возобновляемых источников энергии и энергоэффективных технологий (дома с низким потреблением энергии, низкотемпературные системы отопления и высокотемпературные системы охлаждения, теплонасосные и когенерационные установки, аккумуляторы теплоты и т.п.). Усовершенствованы критерии совместного эксергетического, экономического и экологического оценивания (традиционного и углубленного) системы теплообеспечения с учетом переменных режимов работы компонентов системы и разного соотношения параметров отсчета (выше, ниже, пересечение), по отношению к которым рассчитываются критерии эксергетического анализа. Разработаны и реализованы математические и компьютерные модели перспективных и инновационных решений в системах теплообеспечения, методы и средства реализации этих моделей с учетом предложенных критериев эксергетического оценивания и с применением современных информационных технологий (облачные расчеты, цифровые двойники, предиктивная диагностика и управление, и т.п.). На основе реализуемых численных исследований обоснованы параметры, структура, характеристики, технические и технологические решения систем

теплообеспечения на этапах их создания и оперативного управления для повышения их энергетической, экономической и экологической эффективности.

(Eng). Methodological, mathematical, algorithmic and software maintenance and support services have been developed and improved for optimizing structure, parameters and operation modes of new and improved solutions in heating systems based on renewable energy sources and energy efficient technologies (low-energy houses, low-temperature heating systems and high-temperature cooling systems, heat pumps and cogeneration plants, thermal storages, etc.). Improved criteria have been developed for simultaneous exergy, economic and environmental assessment (conventional and advanced) of the heating systems, taking into account the variable operation modes of the system components under different conditions of the reference point (above, below, or crossing the temperature of the environment). Mathematical and computer models of promising and innovative solutions for heating systems, methods and means of implementation of these models taking into account the proposed criteria of exergic evaluation and using modern information technologies (cloud calculations, digital twins, predictive diagnostics and control, etc.) have been developed and implemented. Based on the implemented numerical studies, the parameters, structures, characteristics, technical and technological solutions of heating systems for design and operation conditions have been proposed for improving their energy, economic and environmental efficiencies.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Комп'ютерна програма "Exergy analysis of heat pumps" / Свідоцтво про реєстрацію авторського права. № 99816; 21.09.2020 р. / Волощук В.А., Некрашевич О.В.
2. Комп'ютерна програма "Advanced exergy analysis of heat pump system" / Свідоцтво про реєстрацію авторського права. № 106950; 03.08.2021 р. / Волощук В.А., Некрашевич О.В.
3. Авторське право на твір «Оцінювання динкаміки енергопотребы будівель з урахуванням ексергетичної моделі теплового комфорту, на прикладі будівель масової забудови» Автори: Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. (Свідоцтво № 99480; 03.09.2020 р.).

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Створені та реалізовані методи, моделі, засоби й алгоритми проектування та керування системами теплозабезпечення на основі ексергетичного підходу відповідають світовому рівню наукових досліджень оскільки в теперішній час цей напрям є новим і забезпечує реалізацію принципово іншого підходу до створення й управління такими системами – а саме кількісне оцінювання необоротностей та їх зв'язок із економічною та екологічною ефективністю процесів передачі та перетворення енергії в технологічних ланках системи забезпечення теплового комфорту в приміщеннях.

Критерії ексергетичного оцінювання (в тому числі і поглибленого) систем теплозабезпечення на стадії проектування та експлуатації враховують змінні та перехідні режим роботи через вплив погодно-кліматичного фактору, а також різне співвідношення параметрів відліку (вище, нижче, перетинає).

Нові моделі та алгоритми їх реалізації базуються на запропонованих термодинамічних підходах, а також використовують сучасні інформаційні технології (хмарні розрахунки, цифрові двійники, машинне навчання, предиктивна діагностика, тощо).

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Впровадження нових техніко-технологічних схем та принципів оперативного керування у сфері теплозабезпечення населених пунктів на основі розроблених методів, моделей, алгоритмів, засобів та створеної інформаційної бази дасть можливість майже вдвічі знизити споживання викопних, імпортованих та високоякісних видів палива

(зокрема, природного газу), від яких складно відмовитися в інших галузях (хімічна, металургійна, тощо).

7. Потенційні користувачі.

Потенційними замовниками науково-прикладних результатів є галузеві інститути НАН України, об'єкти житлово-громадської сфери незалежно від форми власності та комунальні підприємства. В отриманих результатах НДР зацікавлені, зокрема ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», Український фонд соціальних інвестицій, Інститут місцевого розвитку, Асоціація енергоефективних міст України, Асоціація енергоаудиторів, Асоціація підприємств промислової автоматизації України та інші. Також зацікавленість в отриманих результатах підтверджено листами підтримки від Українського гідрометеорологічного інституту НАНУ, ТОВ «СП «Укрінтерм», ПП «Артезія».

8. Стан готовності розробки.

Розроблено інформаційну базу, що включає в себе методи, алгоритми та розрахункове середовище для обґрунтування структури, параметрів, режимів роботи нових і вдосконалених рішень в системах теплозабезпечення населених пунктів на основі методології ексергетичного аналізу.

9. Існуючі результати впровадження.

Впровадження результатів роботи здійснюється на підставі укладання договорів, зокрема господарчих і грантових угод в рамках проектів наукового парку «Київська політехніка», а також Центру Індустрії 4.0 на базі КПІ ім. Ігоря Сікорського, тощо.

10. **Назва підрозділу, телефон, e-mail.** КПІ ім. Ігоря Сікорського, теплоенергетичний факультет, кафедра автоматизації теплоенергетичних систем, 044 204-80-84. v.voloshchuk@kpi.ua.

11. Фрагменти розробки.

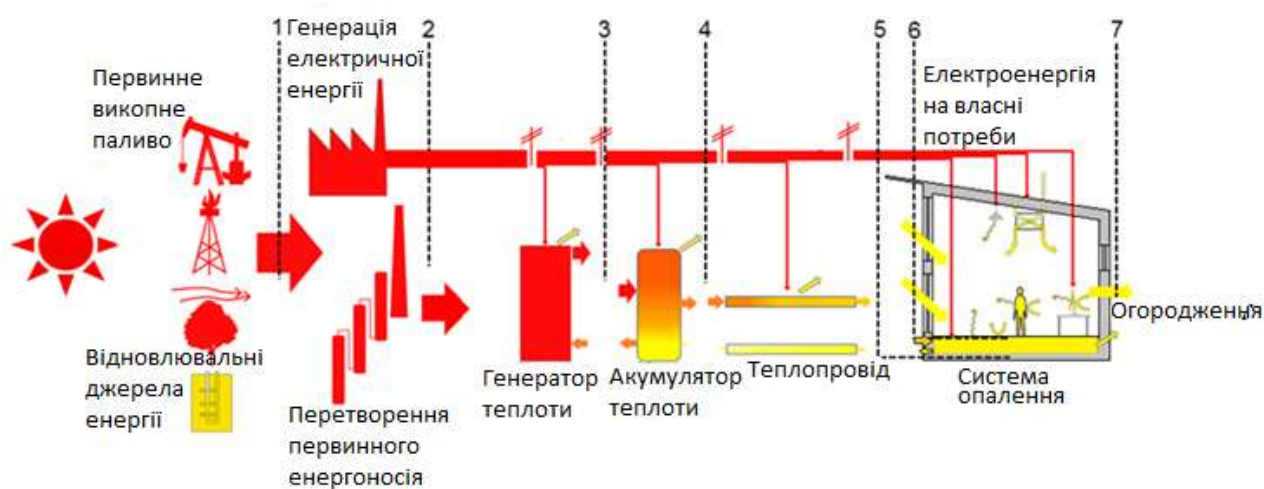


Рис. 1. Послідовність елементів СТ будівель від первинного перетворення до кінцевого споживання, включаючи проміжні елементи перетворення та передачі енергії

1. Проектні дані, граничні умови

Внутрішній об'єм, V_{in} м³

Спалювальна площа, A_{st} м²

Температура повітря в приміщенні, $T_{Air, in}$ °C

Відносна вологість повітря в приміщенні, $\phi_{air, in}$ %

Абсолютний тиск повітря в приміщенні, $P_{air, in}$ МПа

Параметри зовнішнього повітря

Температура зовнішнього повітря, $T_{Air, Out}$ °C

Відносна вологість зовнішнього повітря, $\phi_{air, out}$ %

Абсолютний тиск зовнішнього повітря, $P_{air, out}$ МПа

2. Дані для визначення потоків теплової енергії

2.1 Дані для визначення потоків енергії шляхом теплопередачі

2.1.1 Стіна

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
$A_{st, w}$ <input type="text" value="120.6"/> м ²	$U_{st, w}$ <input type="text" value="0.5"/> Вт/(м ² ·K)	$F_{X_{st, w}}$ <input type="text" value="1"/>

2.1.2 Вікна

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
$A_{st, w}$ <input type="text" value="20.26"/> м ²	$U_{st, w}$ <input type="text" value="1.6"/> Вт/(м ² ·K)	$F_{X_{st, w}}$ <input type="text" value="1"/>

2.1.3 Двері

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
A_d <input type="text" value=""/> м ²	U_d <input type="text" value=""/> Вт/(м ² ·K)	F_{X_d} <input type="text" value=""/>

2.1.4 Дах

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
$A_{t, 1}$ <input type="text" value="115.5"/> м ²	$U_{t, 1}$ <input type="text" value="0.22"/> Вт/(м ² ·K)	$F_{X_{t, 1}}$ <input type="text" value="1"/>

2.1.5 Підлога останнього поверху

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
$A_{t, 2}$ <input type="text" value=""/> м ²	$U_{t, 2}$ <input type="text" value=""/> Вт/(м ² ·K)	$F_{X_{t, 2}}$ <input type="text" value=""/>

2.1.6 Стіна, що межує із сусідніми кімнатами

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
A_{tw} <input type="text" value=""/> м ²	U_{tw} <input type="text" value=""/> Вт/(м ² ·K)	$F_{X_{tw}}$ <input type="text" value=""/>

2.1.7 Стіни та підлоги, що межують із неопалюваними приміщеннями

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
A_{utw} <input type="text" value=""/> м ²	U_{utw} <input type="text" value=""/> Вт/(м ² ·K)	$F_{X_{utw}}$ <input type="text" value=""/>

2.1.8 Floors to ground. Areas of unheated cellar to ground

Площа	U-значення	Коефіцієнт врахування температури
A_g <input type="text" value="84.31"/> м ²	U_g <input type="text" value="0.34"/> Вт/(м ² ·K)	F_{X_g} <input type="text" value="0.5"/>

2.2 Дані для визначення потоків енергії на вентиляцію

Кратність повітрообміну n_v ach/hr

Ефективність рекуперації вентиляційного повітря η_v %

2.3 Дані для визначення енергетичних надходжень

2.3.1 Енергетичні надходження за рахунок Сонця

Частка днів вікна $F_{D, 1}$	Загальна площа вікна	Прікс сонячної енергії	Коефіцієнт пропускання
<input type="text" value="0.3"/>	$A_{w, s}$ <input type="text" value="20.26"/> м ²	$i_{sol, s}$ <input type="text" value="100"/> W/m ²	g_0 <input type="text" value="0.63"/>
	$A_{w, l}$ <input type="text" value="5"/> м ²	$i_{sol, l}$ <input type="text" value="100"/> W/m ²	g_l <input type="text" value="0.63"/>
	$A_{w, v}$ <input type="text" value="7.2"/> м ²	$i_{sol, v}$ <input type="text" value="100"/> W/m ²	g_v <input type="text" value="0.63"/>

2.3.2 Внутрішні тепловідлення

Кількість проживаючих n_p

Кількість енергії, що виділяється людина q_0 W

Питомі витрати енергоздобуття обладнання q_{ob} W/m²

Питомі витрати енергоздобуття освітлення q_l W/m²

Питомі затрати електроенергії на вентиляцію q_v W/m³

3. Дані з розрахунку системи виробництва і транспортування тепла та опалення

3.1 Виробництво / Трансформація

Джерело 1:

Температура подавальної води $T_{Sup, SH, 1}$ °C

Температура зворотньої води $T_{Ret, SH, 1}$ °C

Джерело 2:

Температура подавальної води $T_{Sup, SH, 2}$ °C

Температура зворотньої води $T_{Ret, SH, 2}$ °C

Частка джерела 2 $F_{SH, 2}$ %

3.2 Акумулятор:

3.3 Система подачі енергії

Розміщення джерела:

Ізоляція:

Підлога температура:

3.4 Система опалення:

3.5 Система ГВП:

Джерело 1:

Джерело 2:

Частка джерел $F_{DHW, 2}$ %

3.6 Виробництво електричної енергії

Фактор первинної енергії виходячого палива $F_{p, electr, fos}$

Фактор первинної енергії відновлювальних джерел $F_{p, electr, ran}$

Рис. 2. Фрагмент блоку вхідних даних інформаційного ресурсу для інтерактивного ексергетичного аналізу СТ будинку

3. Дані з розрахунку системи виробництва і транспортування тепла та опалення

3.1 Виробництво

Джерело 1:

- No Source
- Standart boiler
- Standart oil boiler
- Standart gas boiler
- Condensing boiler
- Cogeneration
- Electric boiler
- Heat pump borehole water/glycol
- Heat pump exhaust air/water
- Heat pump external air/water
- Ground heat pump water/water
- Air heat pump
- Biomass/wood/pellet boiler
- District heating
- District heating from waste

3.4 Система опалення

- Flow heating
- Wall heating
- Radiator
- Air heating/cooling
- Ceiling heating
- Slab heating/cooling
- Free cooling-ventilation
- HT radiators (DIN255: 90/70)
- HT radiators (DIN255: 70/55)
- HT radiators (DIN255: 55/45)
- HT radiators (DIN255: 35/28)
- LT radiators
- Wall heating (Low temperature)
- Radiating panel
- Slab and floor heating
- Direct electric heating

3.5 Система ГВП:

Джерело 1:

- No DHW production

Джерело 2:

- Office; local electric boiler
- Dwelling; local electric boiler
- Dwelling; same as Source 1 for space heating
- Dwelling; standart boiler
- Dwelling; condensing boiler
- Dwelling; biomass boiler
- Dwelling; solar flat plate collector
- Dwelling; solar vacuum tube collector

Рис. 3. Фрагмент блоку вхідних даних інформаційного ресурсу для інтерактивного ексергетичного аналізу СТ будинку

РОЗРАХУНОК

1. РОЗРАХУНОК ВІДПІВІДНОГО ТЕПЛОПІТОКУ
 Сумарні витрати енергії згідно теплової балансу через перепад температури і опромінення:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Сумарні витрати енергії згідно теплової балансу через перепад температури і опромінення (задача):
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Сумарні витрати енергії згідно теплової балансу через перепад температури і опромінення (задача):
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Сумарні витрати енергії згідно теплової балансу через перепад температури і опромінення (задача):
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$

2. РОЗРАХУНОК ВІДПІВІДНОГО ТЕПЛОПІТОКУ
 Сумарні витрати енергії на електроенергію:
 $W_{\text{ел}} = 0.1212 \text{ MWh} = \frac{Q_{\text{вн}} \cdot \text{коф. еф.}}{\eta_{\text{ген}} \cdot \eta_{\text{дод.}} \cdot \eta_{\text{дод.}} \cdot \eta_{\text{дод.}}} = 1.41 \cdot 10^{-3} \text{ MWh}$
 Витрати на електроенергію згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Витрати на електроенергію згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Витрати на електроенергію згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Витрати на електроенергію згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$

3. РОЗРАХУНОК МІДРОБІВНІСЬ ДІАГНОСТИ
 Розрахунок витрат енергії на підведення теплової енергії до будівельних елементів:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Розрахунок витрат енергії на підведення теплової енергії до будівельних елементів:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Розрахунок витрат енергії на підведення теплової енергії до будівельних елементів:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Розрахунок витрат енергії на підведення теплової енергії до будівельних елементів:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Розрахунок витрат енергії на підведення теплової енергії до будівельних елементів:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$

4. РОЗРАХУНОК ПОТІВ ЕНЕРГІЇ ТА ЕКСЕРГІЇ
 Потік енергії та ексергії згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Потік енергії та ексергії згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Потік енергії та ексергії згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$
 Потік енергії та ексергії згідно теплової балансу:
 $Q_{\text{вн}} = \sum (k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{вн}} - T_{\text{зовн}})) + \sum (k_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot \Delta T_{\text{оп}}) = 1.31 \text{ MW}$

Рис. 4. Фрагмент інформаційного ресурсу результатів інтерактивного розрахунку потреб енергії для теплозабезпечення будинку

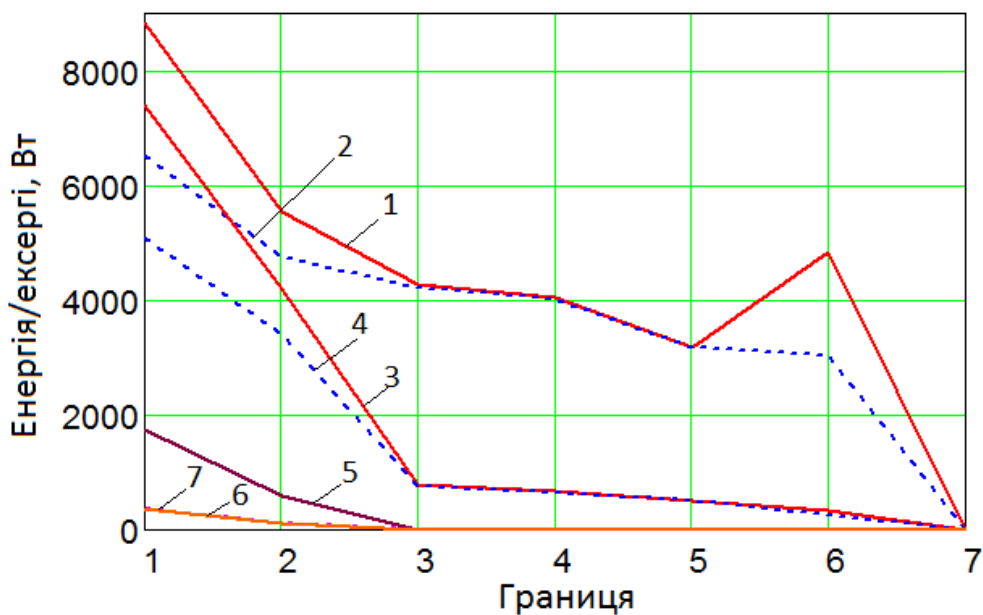


Рис. 5. Потіки енергії та ексергії через елементи системи теплозабезпечення будинку:

- 1 – загальний потік енергії; 2 – потік енергії для теплозабезпечення (викопне паливо і відновлювальне); 3 – загальний потік ексергії; 4 – потік ексергії для теплозабезпечення (викопне паливо і відновлювальне); 5 – електрична енергія для освітлення та електрообладнання; 6 – енергія для гарячого водопостачання; 7 – ексергія для гарячого водопостачання

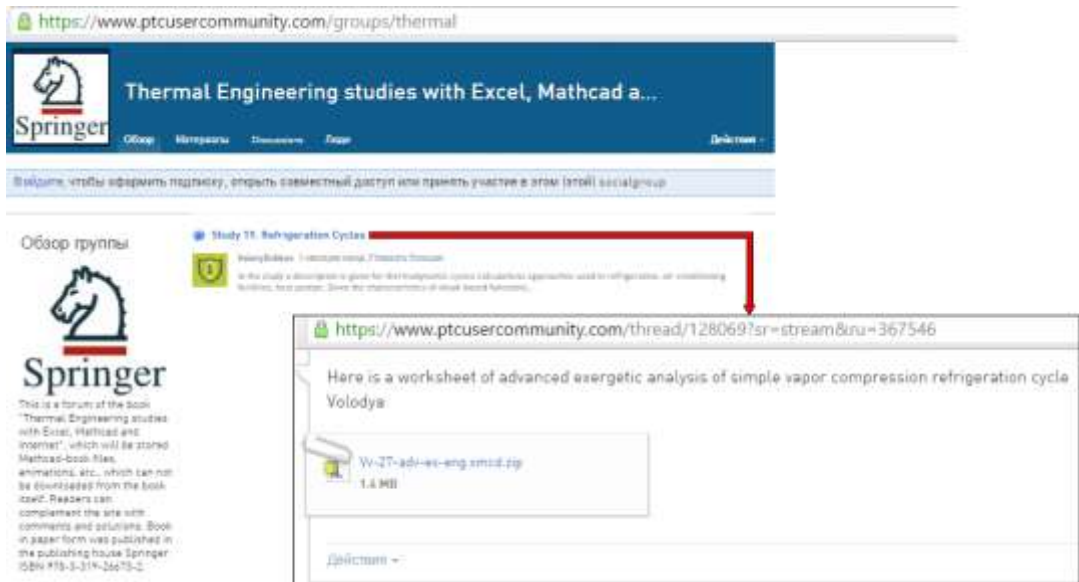


Рис. 6. Копія інтернет-сторінки <https://community.ptc.com/t5/Thermal-Engineering-studies-with-gp-p/2035> РТС спільноти, де запропонований Mathcad-документ для реалізації поглибленого ексергетичного аналізу парокомпресійного холодильного циклу

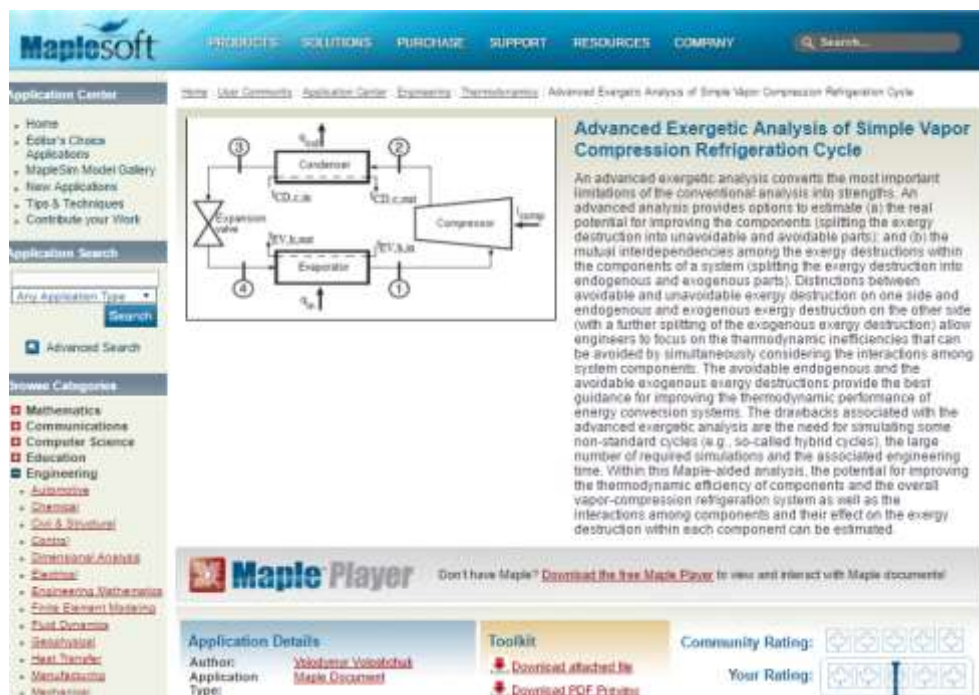


Рис. 7. Копія веб-сторінки <http://www.maplesoft.com/applications/view.aspx?SID=154068> серверу Maple application center, де розміщений Maple-документ з поглибленого ексергетичного аналізу простого термодинамічного циклу парокомпресійного теплового насоса

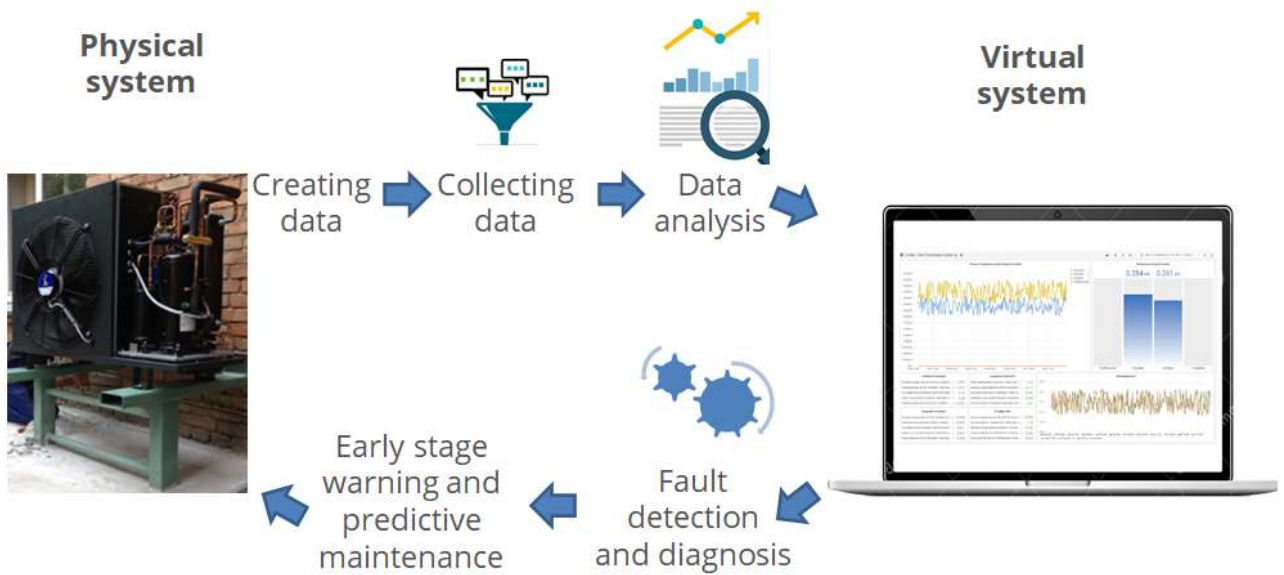


Рис. 8. Принципова схема реалізації технології цифрового двійника теплонасосної установки



Рис. 8. Приклад реалізації технології цифрового двійника теплонасосної установки для діагностування методами ексергетичного аналізу наявності та стану дефектів у її компонентах

Приклади застосування хмарної платформи collaboratory для моделювання компонентів системи теплозабезпечення:

- [An open source web-based interactive tool for implementation of advanced exergy analysis of a refrigeration machine](#)
- [Exergy analysis of heat pump](#)
- [Ексергетичний аналіз процесу застосування дроселювання пари для регулювання потужності парової трубини](#)
- [Діагностування роботи теплонасосної установки на основі ексергетичного аналізу](#)

Монографія:

1) Дешко В.І. Ексергетичний аналіз систем створення теплового комфорту у будівлях / В.І.Дешко, В.А. Волошук, Н.А. Буюк // Монографія – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 168 с.

Статті:

1) Deshko V., Buyak N., Bilous I., Voloshchuk V. “Reference state and exergy based dynamics analysis of energy performance of the “heat source - human - building envelope” system”, Energy, Vol. 200, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117534> (Scopus)

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2%2Ds2.0%2D85082872983&origin=resultslist> ;

2) Voloshchuk V., Gullo P., Sereda V. “Advanced exergy-based performance enhancement of heat pump space heating system”, Energy, Vol. 205, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117953> (Scopus)

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2%2Ds2.0%2D85086176025&origin=resultslist> ;

3) Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., Yatsenko, O. Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. Journal of Building Engineering, 2021, 42, 103020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103020> (Scopus);

4) Voloshchuk, V., Gullo, P. and Nekrashevych, O. (xxxx) ‘Simultaneous thermodynamic and economic enhancement of heat pumps based on a new method for avoidable irreversibility assessment’, Int. J. Exergy, Vol. X, No. Y, pp.xxx–xxx (Scopus, прийнято до публікації);

5) >Voloshchuk, V.<, Gullo, P., >Nikiforovich Eu.<, >Buyak, N.< Simulation and Exergy Analysis of a Refrigeration System Using an Open-Source Web-Based Interactive Tool—Comparison of the Conventional Approach and a Novel One for Avoidable Exergy Destruction Estimation. Appl. Sci. 2021, 11 (23), 11535. <https://doi.org/10.3390/app112311535>. <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/23/11535/htm> (Scopus);

6) В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, Н.А. Буюк, М.В. Гурєєв. Оцінювання динаміки енергопотреби будівель масової забудови з урахуванням ексергетичної моделі теплового комфорту. Енергетика та автоматика. №1. 2020. Ст. 77-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.01.077>, (фахове видання України);

7) Buyak, N., Deshko, V., Bilous, I., Gureev, M., & Holubenko, O. (2020). Assessment of the window replacement influence on building energy consumption and human thermal comfort on the basis of dynamic modeling. Refrigeration Engineering and Technology, 55(5-6), 282-292. <https://doi.org/10.15673/ret.v55i5-6.1656>, (фахове видання України);

8) Voloshchuk V., Polishchuk M. Exergy-based control strategy in a dwelling ventilation system with heat recovery. Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska 2020, 10(2), 44-47. (іноземне видання). <https://ph.pollub.pl/index.php/iapgos/article/view/933>, (іноземне фахове видання);

9) Stepanets O., Mariash Yu. Model predictive control application in the energy saving technology of basic oxygen furnace. Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska 2020, 10(2), 70-74. (іноземне видання). <https://ph.pollub.pl/index.php/iapgos/article/view/931/1768>, (іноземне фахове видання);

10) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Крамаренко С.О. Додаткові тепловтрати в місцях примикання віконної рами до огорожувальних конструкцій. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». Випуск № 2. Київ 2020. С. 36-43. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2020.220708>, (фахове видання України);

11) В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, В.О. Винорадов-Салтиков, І.О. Суходуб, О.І. Яценко. Експериментальне дослідження якості повітря та повітрообміну в закладах освіти

та житлових будівлях. Вісник КНУТД. 2020, № 4 (147). <http://econ-vistnyk.knutd.edu.ua/arhiv/> (фахове видання України);

12) Степанець, О. В., & Захарченко, А. С. (2020). Вплив автоматичної системи моніторингу та управління будівлею на загальні показники енергоефективності. *Automation of Technological and Business Processes*, 12(2), 14-21. <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/atbp/article/view/1804> (фахове видання України);

13) Некрашевич, О. В., Волощук, В., & Ковриго, Ю. М. (2020). Застосування критеріїв поглибленого ексергетичного аналізу для обґрунтування рішень з підвищення енергетичної ефективності теплонасосної установки на стічних водах. *Automation of Technological and Business Processes*, 12(2), 21-28. <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/atbp/article/view/1805> (фахове видання України);

14) Волощук В. А. Ексергетичний аналіз перехідних процесів баків-акумуляторів [Текст] / В. А. Волощук, О.В. Некрашевич, С.В. Любицький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – № 1(3). – С. 42–48. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/50509> (фахове видання України);;

15) Захарченко А.С. Особливості використання модельно-прогнозуючого керування в автоматизації будівель [Текст] / А.С. Захарченко, О.В. Степанець // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. – Т.31(70). – №6. – Ч.1. – С. 70-77. doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/12, http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/6_2020/part_1/14.pdf, (фахове видання України);

16) Волощук, В., Некрашевич, О., & Ханко, А. (2020). Методи високоефективного людино-машинного інтерфейсу. *Automation of Technological and Business Processes*, 12(4), 12-21. <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i4.1930>, <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/atbp/article/view/1930>, (фахове видання України);

17) Волощук В.А. Моделювання об'єктів теплоенергетики методами термодинамічного аналізу [Текст] / В.А. Волощук, Є.І. Никифорович // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2021, № 1 (135). – С. 53–58, (фахове видання України);

18) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Осадча М.І. Внесок сонячної радіації в методах визначення енергопотребності на опалення. *Енергетика та автоматика*. №2. 2021. Ст. 26-38. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.02.026>, (фахове видання України);

19) Степанець О.В. Самодіагностика обладнання індивідуального теплового пункту як засіб оцінки стану його вузлів [Текст] / О.В. Степанець, В.О. Багінський // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2020. – Т.32(71). – №3. – Ч.1. – С. (фахове видання України);

20) Stepanets O. Model Predictive Control Toolbox Design for Nonstationary Process / Y. Mariash, O. Stepanets // *KPI Science News*. - 2021. – P. 42-49. DOI: 10.20535/kpissn.2021.1.217992, (фахове видання України);

21) Voloshchuk V. A. A new approach for estimation of avoidable exergy destruction: A case study of a heat pump unit [Text] / V. Voloshchuk, P. Gullo, Eu. Nikiforovich // *Proceedings of the 34nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS2021*, 27 June – 2 July, Taormina, Italy. – P. 1369 – 1377, (іноземне видання);

22) Voloshchuk V. A. Comprehensive Energy and Exergy Analysis of the Ground Source Heat Pump Evaporator [Text] / V. Voloshchuk, O. Kordas, Eu. Nikiforovich // *Proceedings of the 34nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS2021*, 27 June – 2 July, Taormina, Italy. – P. 1434 – 1443, (іноземне видання);

23) Волощук В.А. Застосування хмарної платформи Colaboratory для реалізації ексергетичного аналізу теплонасосних установок / В.А. Волощук, С.В.Любицький, І.А. Поліщук, М.А.Поліщук // Вчені записки Таврійського національного університету імені

В.І. Вернадського. – Том 32 (71), № 5. – 2021 (прийнято до публікації), **(фахове видання України)**;

24) Волощук В.А. Ексергетичне оцінювання когенераційної установки з урахуванням змінних режимів роботи / В.А. Волощук, О.В. Некрашевич, П.В. Гікало // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. – Том 32 (71), № 5. – 2021 (прийнято до публікації), **(фахове видання України)**;

25) Nadia Buyak, Valeriy Deshko, Inna Bilous. Changing Energy and Energy Comfort Level after School Thermomodernization. .Rocznik Ochrona Srodowiska, Vol. 23, Year 2021 (прийнято до публікації).

26) Valerii Deshko, Inna Bilous, Dmytro Biriukov, Olena Yatsenk. Transient energy models of housing facilities operation. Rocznik Ochrona Środowiska. Volume 23. 2021. Pp. (прийнято до публікації), **(фахове видання України)**;

27) Дешко В.І., Буяк Н.А., Білоус І.Ю. Термомодернізація школи та зміна рівня теплового комфорту. Енергетика та автоматика. №3. 2021. Ст. 62-74, **(фахове видання України)**;

28) Valeriy Deshko, Inna Bilous, Dmytro Biriukov. Modeling of unsteady temperature regimes of autonomous heating systems. Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES). 2021. No.1. Pp. (прийнято до публікації)

29) В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, І.О. Суходуб, О.І. Яценко. Аналіз впливу розподілення повітрообміну між кімнатами на енергоспоживання квартири. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». 2021. №1. С. 39-50, **(фахове видання України)**;

30) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Осадча М.І. Внесок сонячної радіації в методах визначення енергопотреби на опалення. Енергетика та автоматика. №2. 2021. Ст. 26-38, **(фахове видання України)**;

Конференції:

1) Deshko Valeriy, Bilous Inna, Nadia Buyak, Olena Shevchenko. The Impact of Energy-Efficient Heating Modes on Human Body Exergy Consumption in Public Buildings. 2020 IEEE 7th international conference on energy smart systems. Kyiv, Ukraine, May 12-14, 2020. **(Scopus)**;

2) Voloshchuk V. A. A new approach for estimation of avoidable exergy destruction: A case study of a heat pump unit [Text] / V. Voloshchuk, P. Gullo, Eu. Nikiforovich // Proceedings of the 34nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS2021, 27 June – 2 July, Taormina, Italy. – P. 1369 – 1377.

3) Voloshchuk V. A. Comprehensive Energy and Exergy Analysis of the Ground Source Heat Pump Evaporator [Text] / V. Voloshchuk, O. Kordas, Eu. Nikiforovich // Proceedings of the 34nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS2021, 27 June – 2 July, Taormina, Italy. – P. 1434 – 1443.

4) Волощук В.А. Застосування і порівняльний аналіз нового підходу для оцінювання частки деструкції ексергії, що можна уникнути в холодильній машині [Text] / В. Волощук, О. Некрашевич, С. Любицький // Тези доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Ексергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування» (27-28 квітня 2021, Харків): НТУ «ХП»; Видавництво «Лідер». – 82-83 с.

5) Степанець О.В. Переваги застосування граничних обчислень в VACS / О.В. Степанець, А.С. Захарченко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат. конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т.2. — С. 5.

6) Степанець О.В. Проблеми моделювання динаміки мікроклімату будівлі в умовах невизначеності / О.В. Степанець, А.С. Захарченко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т.2. — С. 6.

7) Некрашевич О.В. Ключові показники ефективності енергоменджменту / О.В. Некрашевич, Ю.М. Ковриго // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — Т.2. — С. 8.

8) Волощук В.А. Перспективи застосування ексергетичного підходу в системах керування систем опалення, вентиляції та кондиціонування / В.А. Волощук, М.А. Поліщук // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — Т.2. — С. 9.

9) Степанець О.В. Синтез системи керування тиском в системі опалення на базі нейрорегулятора / О.В. Степанець, Д.Т. Гритчук // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — Т.2. — С. 10.

10) Волощук В.А. Прогнозне керування в системах теплозабезпечення будівель / В.А. Волощук, П.Р. Безвершенко // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — Т.2. — С. 17.

11) Волощук В.А. Огляд сучасних технологій поєднання теплонасосних установок із системами сонячної енергетики / В.А. Волощук, М.С. Богза // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVII міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених та студентів, 22-24 кв. 2020р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — Т.2. — С. 18.

12) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Бірюков Д.В. Управління режимами ефективного теплозабезпечення будівель на основі математичного моделювання. Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (29 - 30 квітня 2020 р., м. Чернігів). Чернігів: ЧНТУ, 2020. С. 78.

13) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А. Визначення енергоспоживання будівель з врахуванням параметрів комфорту на основі динамічного моделювання. Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування" (19 - 20 травня 2020 р., м. Київ). Київ: НУБіП, 2020. С. 163-164.

14) Voloshchuk V., Gullo P, Nekrashevych O. Advanced exergy analysis of heat pumps with different eco-friendly working fluids // 6th International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering CPOTE 2020, 21-24 September 2020, Poland.

15) Voloshchuk V., Gullo P, Nekrashevych O. Evaluation of component interactions in heat pumps on the base of advanced exergetic analysis // 6th International Conference on Contemporary Problems of Thermal Engineering CPOTE 2020, 21-24 September 2020, Poland.

16) Волощук В. А. Особливості ексергетичного аналізу динамічних процесів в об'єктах теплоенергетики [Текст] / В. А. Волощук, О.В. Некрашевич, С.В. Любицький // Тези доповідей XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування» (25-26 листопада 2020, Харків): НТУ «ХПІ»; Видавництво «Лідер». – 46-47 с.

17) Степанець О.В. Застосування модельно-прогнозуючого керування в киснево-конвертерній плавці / О.В. Степанець, Ю.І.Маріяш // Актуальні питання механічної та електричної інженерії, транспортних технологій, електроніки, автоматизації та ІТ, Міжнародна наукова конференція, 05.03.2021р. : мат.конф. — Хмельницький, UKR — С. 25-27.

18) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Петрученко О.В. Аналіз впливу енергоефективних режимів опалення на енергоспоживання будівель на основі математичного моделювання. Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'21 м.Київ 5-11 березня 2021 р. С. 26-27.

19) Захарченко А. С., Степанець О. В. Підвищення енергоефективності систем опалення будівлі за рахунок впровадження модельно-прогнозного керування. Тези доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичні та

теплотехнічні процеси й устаткування», 27–28 квітня 2021 р. Харків: НТУ «ХП», 2021. С. 66–67. ISBN 978-617-7476-56-5.

20) Степанець О.В. Стратегії удосконаленого керування технологічними параметрами парового котла виробничої котельні / О.В. Степанець, Д.О. Шрам // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XIX міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених і студентів, 20-23 кв. 2021р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — Т.2. — С. 16-17.

21) Степанець О.В. Предиктивна самодіагностика як метод виявлення та сигналізації неявного виходу з ладу обладнання. / О.В. Степанець, В.О. Багінський // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XIX міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених і студентів, 20-23 кв. 2021р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — Т.2. — С. 18-19.

22) Степанець О.В. Приховані проблеми сучасних ІОТ пристроїв автоматизації в системах "розумних будівель" / О.В. Степанець, Д.К. Лядишев // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XIX міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених і студентів, 20-23 кв. 2021р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — Т.2. — С. 76-77.

23) Степанець О.В. Диспетчеризація індивідуального теплового пункту засобами Node-RED / О.В. Степанець, К.Д. Перегуда // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XIX міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених і студентів, 20-23 кв. 2021р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — Т.2. — С. 84-85.

24) Некрашевич О.В. Обґрунтування та доцільність застосування критеріїв ексергетичного аналізу в якості ключових показників ефективності об'єктів теплоенергетики / О.В. Некрашевич, В.А. Волошук // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XIX міжнар. наук.-прак. конф. Молодих вчених і студентів, 20-23 кв. 2021р. : мат.конф. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — Т.2. — С. 12-13.

25) Білоус І.Ю., Крамаренко С.О. Оцінка впливу лінійних теплопровідних включень в місцях примикання віконної рами до огорожувальних конструкцій будівлі. Міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» Київ 20-23 квітня 2021 р. С. 292.

26) Білоус І.Ю., Бойко Т.Ю. Енергетичне моделювання навчального корпусу №17 КПІ ім. Ігоря Сікорського. XVI Міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» Київ 20-23 квітня 2021 р. С. 302-303.

27) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гетманчук Г.О. Експериментальне дослідження якості повітря в багатоквартирному житловому будинку сімейного типу. Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (26-27 травня 2021 р., м. Чернігів). Чернігів: ЧНТУ, 2020. С. 183-184.

28) Дешко В.І., Сапунов А.П., Буяк Н.А. Споживання енергії/ексергії первинного палива системою «Джерело теплоти – огороження будівлі». Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (26-27 травня 2021 р., м. Чернігів). Чернігів: ЧНТУ, 2020. С. 124-125.

29) Дешко В.І., Буяк Н.А., Білоус І.Ю., Горбатенко С. Д. Вплив рівня теплового захисту на тепловий комфорт громадської будівлі. Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (26-27 травня 2021 р., м. Чернігів). Чернігів: ЧНТУ, 2020. С. 124-125.

30) Захарченко А.С., Степанець О.В. Ідентифікація моделі фанкойла для побудови цифрового двійника. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 20–23 квіт. 2021 р. Київ, 2021. Т. 2. С. 10-11.

31) Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гетманчук Г.О. Експериментальне дослідження якості повітря в багатоквартирному житловому будинку сімейного типу. Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (26-27 травня 2021 р., м. Чернігів). Чернігів: ЧНТУ, 2021. С. 183-184.

32) Дешко В.І., Буяк Н.А., Білоус І.Ю., Горбатенко С. Д. Вплив рівня теплового захисту на тепловий комфорт громадської будівлі. Міжнародна науково-практична конференція "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (26-27 травня 2021 р., м. Чернігів). Чернігів: ЧНТУ, 2021. С. 124-125.

33) В.І. Дешко, І.Ю. Білоус, М.І. Осадча. Щодо пропозиції коригування методів для визначення енергоспоживання будівель. XXII міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ххі столітті» 20-21 травня 2021, Київ. Ст. 79-83.

34) Волощук В. А., Некрашевич О. В., Любицький С. В. Застосування і порівняльний аналіз нового підходу для оцінювання частки деструкції ексергії, що можна уникнути в холодильній машині. Тези доповідей XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування», 27–28 квітня 2021 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С. 82–83. ISBN 978-617-7476-56-5.

35) Voloshchuk V., Pyupena O., Stepanets O., Zakharchenko A., Nekrashevych O. Exergy-based performance degradation diagnosis for use in digital twins of thermal systems // 7th International Conference on Smart Energy Systems, 21-22 September 2021: Book of Abstracts — Copenhagen, Denmark — P. 67.

36) Волощук В. Доцільність застосування критеріїв ексергетичного аналізу для оцінювання ефективності об'єктів теплоенергетики [Text] / Волощук В., Некрашевич О., Гікало П. // Modeling, control and information technologies: Proceedings of V International scientific and practical conference, 2021 November 4-6; Rivne, Ukraine: 114-116.

37) Voloshchuk V. Exergy analysis of a reversible chiller [Text] / Voloshchuk V., Nekrashevych O. Gikalp P. // Modeling, control and information technologies: Proceedings of V International scientific and practical conference, 2021 November 4-6; Rivne, Ukraine: 205-208.

13. **Ключові слова.** Теплозабезпечення, тепловий насос, когенераційна установка, будинок з низьким споживанням енергії, ексергетичний аналіз, математичне та комп'ютерне моделювання, хмарні розрахунки, цифровий двійник.