

## ПІДБІР ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Реалізована формалізована схема підбору енергетичного обладнання для переробного підприємства, проаналізовано три рівня його енергозабезпечення: часткове забезпечення електричною енергією та повне тепловою; повне забезпечення тепловою та електричною енергією; виробітка теплової та електричної енергії з залишком відносно потреб технології.*

*Вирішення задачі раціонального підбору параметрів енергетичного обладнання за умов використання потенціалу енергії відходів підприємства на рівнях 56,3, 63,5, 98,4 %, що дало змогу визначити пріоритетні рівні енергозабезпечення для подальшого техніко-економічного обґрунтування.*

### Ключові слова:

Переробне підприємство, енергонезалежність, диверсифікація, підбір обладнання.

### Abstract

*The approach to solving the problem of selection of rational parameters of power equipment that allows you to make settings of equipment, conditions of work determine the location element in the block diagram of the processing enterprises.*

*Review system in 3 versions allowed to conduct a comprehensive analysis thermodynamically possible and realistic options available for selection parameters of power system equipment recycling company.*

### Keywords:

Processing plants, energy independence, diversification, selection of equipment.

Аналіз літератури показує, що методи і засоби створення енергонезалежного переробного підприємства на органічних відходах та підбір раціональних параметрів енергетичного обладнання на сьогодні вивчені не досконало. На недостатньому рівні розроблені рекомендації для створення диверсифікації енергоносіїв в системі переробного підприємства та методи використання найбільш повного енергетичного потенціалу біомаси [1-3].

Враховуючи становище з паливно-енергетичними ресурсами, постійне зростання цін на імпортоване паливо, все гостріше і актуальніше постає питання використання нетрадиційних та поновлюваних джерел енергії, таких як біомаса, енергія вітру, сонця, води. Одним із пріоритетних напрямків є використання біомаси, чий запаси в Україні оцінюються на рівні 3,6 млн. т у. п. в рік. При цьому найбільш важливими питаннями є раціональне використання біомаси у якості джерел енергії і оцінка енергетичної та екологічної складових спалювання біомаси і вибір енергетичного обладнання яке б забезпечувало раціональний енергетичний, екологічний та капітальний ефект [2].

Широко відомі різні методи підбору обладнання для окремих визначених технологічних умов. Проблеми виникають при комплексному підході до вирішення даного питання. На сам перед через відсутність точних даних щодо складу енергетичної сировини, її теплофізичних властивостей, технології отримання енергії з відходів переробного підприємства і тому подібне .

Для досягнення поставленої мети, а саме підбір раціональних параметрів енергетичного обладнання для переробного підприємства запропоновано формалізовану схему підбору параметрів, яка зображена на рисунку 1.

Згідно схеми визначаємо потенційну енергію, яку можна виробити з відходів виробництва. Оцінюється виробітка теплової та електричної енергії з цих відходів термодинамічними методами. Аналізуються варіанти по енергетичним параметрам з врахуванням науково-технічного прогресу в галузі.

Паралельно визначається потреба технології в енергоресурсах, аналізуються вимоги по виду і параметрам конкретної технології, аналізується кількість та параметри теплової та електричної енергії. Підготовлюється вихідна інформація для техніко-економічного аналізу узгодження потреб технології і реальних можливостей виробництва видів енергії з відходів.

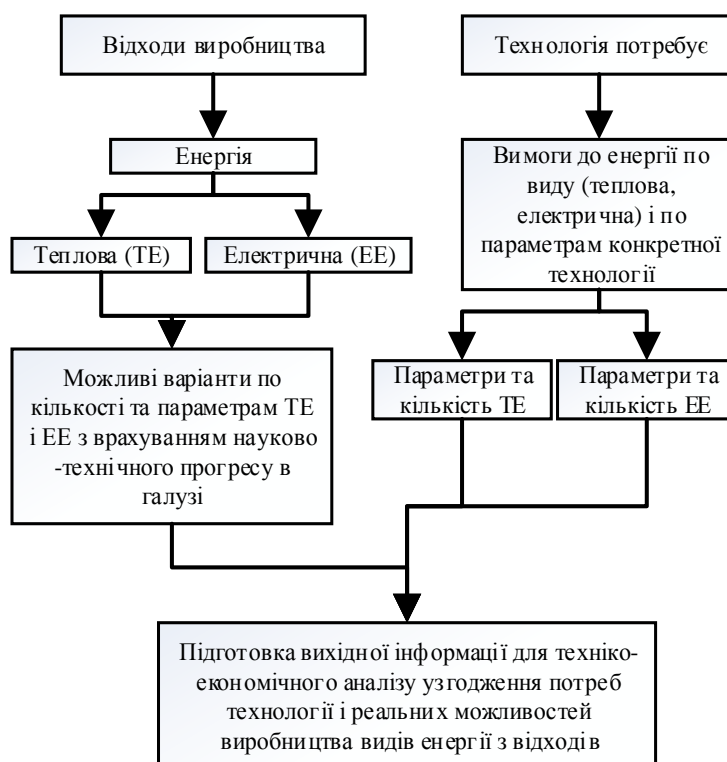


Рисунок 1 – Формалізована схема підбору енергетичного обладнання для переробного підприємства

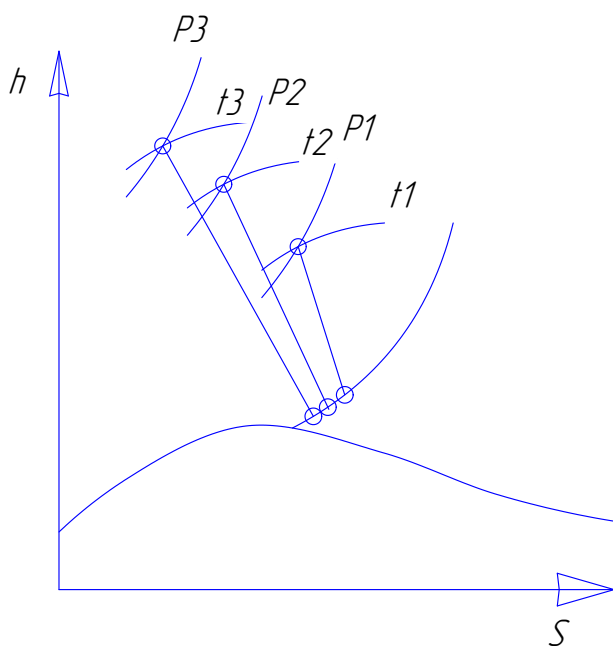
Термодинамічний аналіз виконано за допомогою математичної моделі складеної з відомих залежностей [4, 5] для наступних варіантів схеми представлених у таблиці 1. Вибрані варіанти охоплюють максимальну кількість параметрів енергетичного обладнання, яке встановлене на переробних підприємствах різних галузей та можуть бути використані для якісного аналізу і рекомендацій щодо вибору параметрів енергетичного обладнання.

Для більш детального аналізу використаємо розрахунок циклів ПТУ при різних параметрах пари перед турбіною, В якості ПТУ використаємо обладнання фірми Siemens (табл. 1). Тип турбін – протитискові з проміжним відбором, протитиск 0,5 МПа, проміжний відбір 1,2 МПа.

Таблиця 1 – Характеристики турбін в прийнятих для аналізу схемах

№ Варіанту	Тип турбіни	Тиск пари на вході, Бар	Температура пари, С	Витрата пари, кг/с (т/год)
1	2	3	4	5
1	SST-100	35	360	8,88 (32)
5	SST-100	35	360	11,39 (41)
3	SST-100	65	480	4,44 (16)
4	SST-200	110	520	4,44 (16)
5	SST-900	165	585	4,44 (16)

На рисунку 2 наведено зображення процесів у турбіні на hS діаграмі.



На рисунку 3 наведено зміну показників енергетичної ефективності турбоустановки в залежності від початкових параметрів пари (згідно таблиці 1, 3-5 варіант дослідження). Де коефіцієнт виробітки електричної енергії та коефіцієнт виробітки теплової енергії можна записати у вигляді залежностей 1 та 2 відповідно.

$$K_e = \frac{EE}{EE + TE}, \quad (1)$$

$$K_t = \frac{TE}{EE + TE}, \quad (2)$$

де, EE – електрична енергія вироблена системою; TE – тепла енергія вироблена системою.

Як показують результати аналізу

початкові параметри пари перед турбіною чинять визначний вплив на показники енергетичної ефективності теплоенергетичної установки.

Рисунок 2 – Процес в hS діаграмі

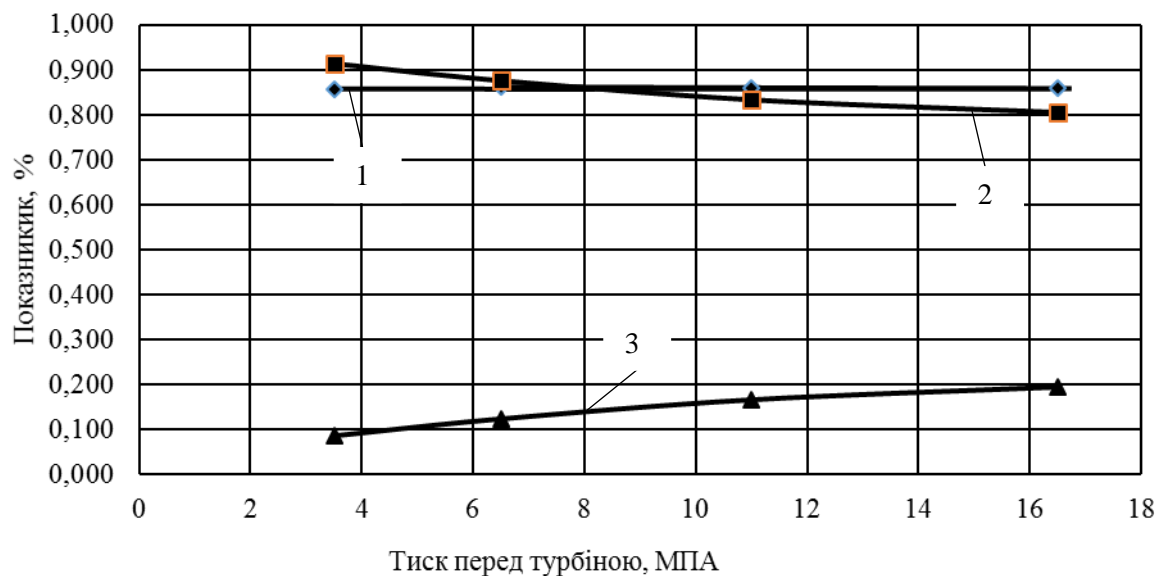


Рисунок 3– Показники енергетичної ефективності

1 – коефіцієнт використання теплоти палива; 2 – коефіцієнт виробництва теплової енергії; 3 – коефіцієнт виробництва електричної енергії.

Рисунок 3 показує що збільшення параметрів пари перед турбіною, для умов наведених в таблиці 1, значною мірою впливає на виробітку електричної енергії. Так при підвищенні тиску до 165 бар порівняно із 35 бар частка виробітки електричної енергії збільшується на 56%, тобто зростає із 0,085 до 0,2.

Також підвищення параметрів пари перед турбіною практично не впливає на коефіцієнт використання теплоти палива, тобто підвищення параметрів пари перед турбіною доцільно для установок, які працюють за електричним графіком навантаження [5].

Розглянемо, декілька варіантів з установленням протитискових турбін, що працюють в залежності від теплового навантаження на технологію та варіантів створення котельні. Розглянемо підбір параметрів енергетичного обладнання для створення ТЕЦ на базі переробного підприємства олійно-жировий промисловості.

Для проведення розрахунків було створено із відомих балансових залежностей математичний алгоритм виконання обчислень. Для аналізу використано реальні показники роботи підприємства та його окремих підрозділів, використано дійсні характеристики роботи обладнання.

Враховуючи, що ТЕЦ переробного підприємства повинна працювати по теплому графіку навантаження, отже забезпечувати надійність роботи теплового споживача. Відсутність на ринку котлоагрегатів для спалення біомаси із тиском пари 8 МПа спонукає до рекомендації для встановлення саме варіанту із 3-ма котлами KE-16, які працюють при тиску 3,9 МПа та перегрівом 440 °С.

В якості турбоагрегата для встановлення можна використати турбіни наступних фірм:

- турбоустановки Уральського турбінного заводу із відбором 1 МПа та протитиском 0,5 МПа;
- турбоустановки Ленінградського турбінного заводу із відбором 1 МПа та протитиском 0,5 МПа;
- замовлення на підприємства “Турбоатом” турбіни із необхідними параметрами;

ТОВ СПКТБ «Енергомашпроект» [6] розробив котельні агрегати серії Е для утилізації різних видів біопалива. Конструкції цих котлів не поступаються, а за деякими параметрами і перевершують котельні агрегати провідних світових виробників.

Котли Е-8, Е-10, Е-12, Е-16 і Е-20 призначені для отримання пари, використовуюваного для технологічних потреб промислових підприємств, а також в якості опалювальних котлів в системах вентиляції та гарячого водопостачання. Котли належать до типу барабаних вертикальних водотрубних котлів і використовуються для промислової вироблення 8; 10; 12; 16 і 25 т / год перегрітої пари з тиском 1,3 - 3,9 МПа і температурою перегріву 225 - 440 ° С.

Паливом для котлів серії Е можуть виступати різні види біомаси. На котли можуть бути встановлені газові пальники для використання природного газу в якості резервного палива [6].

Можливим варіантом є встановлення котлоагрегату BONO ENERGIA [7] з наступними характеристиками: паропродуктивність 55 т/год; температура перегрітої пари 480 °С; тиск пари 75 бар; паливо – тверді органічні відходи, синтез газ, біогаз.

Проаналізуємо систему за таких умов:

- відсутність забезпечення підприємства тепловою та електричною енергією;
- повне забезпечення тепловою енергією і часткове електричною;
- повне забезпечення тепловою та електричною енергією.

В таблицях 2, 3, 4 наведено розбиття системи на 3 варіанти, про які говорилось вище.

Перераховані варіанти проаналізовано при розробці ТЕЦ та прийнято рішення про встановлення турбоустановки фірми Siemens із характеристиками: Тиск пари на вході 3,5 МПа, температура перед турбіною 440 °С, витрата пари на турбіну 48 т/год, внутрішній ККД турбіни 0,82, Тиск у відборі 1 МПа.

Можливість по виробництву пари підприємством становить 48 т/год. В зимовий період потреба в парі складає 45 т/год, а виробітка електричної енергії становить 16,1 ГВт·год, що забезпечує підприємство на 53 %. У літній період потреба в парі складає 34,1 т/год і виробляється 13,2 ГВт·год електричної енергії, тобто 38 % від необхідного.

В таблицях 2, 3, 4 наведено розбиття системи на 3 рівні, про які говорилось вище.

Для створення енергоефективного енергонезалежного підприємства проведено чисельним методом дослідження енергетичної ефективності паротурбінної установки при різних схемних та параметричних варіантах її виконання.

Таблиця 2 – Результати варіантного дослідження за умов помірної зміни обладнання

№ п/п	Варіанти когенераційних установок на лушпинні соняшнику	Технічне оформлення				Вироблена енергія, МВт		Необхідність у енергії, МВт		Забезпечення енергією, МВт	
		Тип кола	Тиск пари, МПа	Темпе-ратура пари, °С	Тип турбіни	Теплота	Електрична	Теплова	Електрична	Теплова	Електрична
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Котельня	KE-16-3,9-360 KE-10-1,4-285 Авогадро	3,9 1,4 1,6	360 285 285	Відсутня	20,5	Відсутня	43	4,57	-22,5	-4,57
2	Котельня + турбіна парова	KE-16-3,9-360 KE-10-1,4-285 Авогадро	3,9 1,4 1,6	360 285 285	SST-100	20,5	1,021	43	4,57	-22,50	-3,55
3	Котельня + додатковий котел + турбіна парова	KE-16-3,9-360 E-25-39-380 E-25-39-380	3,9 3,9 3,9	360 380 380	SST-100	45,16	4,2	43	4,57	+2,16	-0,37

Таблиця 3 – Результати термодинамічного дослідження ефективних варіантів

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	Нова ТЕЦ	Паровий котел (біогаз+синтез газ) Продуктивність 62 т/год	6,5	520	SST-150	43	6,8	43	4,57	0	+2,23
5	Нова ТЕЦ високого тиску	Паровий котел (біогаз+синтез газ) Продуктивність 63 т/год	11	520	SST-200	43	8,3	20,5	4,57	0	+3,73

Таблиця 4 – Варіант з використанням на підприємства максимального потенціалу органічних відходів

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	Нова ТЕЦ високого тиску	Паровий котел (біогаз+синтез газ+біомаса) Продуктивність 42 т/год	6,5	480	SST-100	29,4	4,65	20,5	4,57	-13,6	+0,08
7	Нова ТЕЦ високого тиску	Паровий котел (біогаз+синтез газ+біомаса) Продуктивність 72 т/год	6,5	480	SST-100	46	7,33	20,5	4,57	+3	+2,76

Проаналізувавши результати можна зробити висновок, що запропонований підхід до вирішення задачі раціонального підбору параметрів енергетичного обладнання дає змогу визначити необхідні параметри обладнання, умови його роботи визначити місце елемента у структурній схемі системи переробного підприємства.

Розбиття системи на 3 рівні енергозабезпечення дозволяє провести комплексний аналіз термодинамічно можливих та реально наявних варіантів для компоновки елементів системи.

Перший варіант (таблиця 2). При розгляді першого варіанту проводився аналіз доступного обладнання в межах середнього тиску (3,9 МПа) та з помірною зміною обладнання. Можна побачити, що використання енергетичного потенціалу біомаси знаходиться на рівні 56,3%, надлишок теплової енергії складає – 2,16 МВт, а недостача електричної енергії складає – 0,37 МВт. Отже, за даних параметрів роботи ТЕЦ неможливо забезпечити достатній рівень енергонезалежності підприємства.

Другий варіант (таблиця 3). Розгляд термодинамічно можливих варіантів показує що підвищення тиску до 11 МПа та температури перегріву пари до 520 °С призведе до створення раціональних умов виробництва теплової та електричної енергії, відсутній перевиробіток і дефіцит теплової енергії та можливість реалізації у електричну мережу електричної енергії «за зеленим тарифом», використання енергетичного потенціалу на 63,5%. Технологічні потреби повністю забезпечуються тепловою та електричною енергією. Але відсутність обладнання, що задовольняє дані параметри призводить до пошуку інших варіантів.

Третій варіант (таблиця 4). Використання обладнання з параметрами: тиск пари 6,5 МПа, температура перегріву 480 °С. Забезпечується максимальне використання біомаси (98,4%) підприємства та високі показники по виробництву теплової та електричної енергії, що дає змогу підприємству збувати стороннім споживачам теплову енергію та реалізовувати у мережу електричну енергію. Існує елементна база для реалізації третього варіанту.

Таким чином перший та третій варіант можна рекомендувати для подальшого техніко-економічного аналізу

## Висновки

В результаті реалізації формалізованої схеми підбору енергетичного обладнання для переробного підприємства проаналізовано три рівня енергозабезпечення:

- за умов використання енергетичного потенціалу біомаси на рівні 56,3% надлишок теплової енергії складає 2,16 МВт, а недостача електричної енергії – 0,37 МВт. Отже, за даних параметрів роботи ТЕЦ неможливо забезпечити достатній рівень енергонезалежності підприємства;
- за умов використання енергетичного потенціалу біомаси на 63,5% технологічні потреби повністю забезпечуються тепловою та електричною енергією. Але відсутність котлів на вказані в тексті статті термодинамічні параметри для спалювання біомаси ускладнює реалізацію розглянутого варіанту енергозабезпечення в умовах підприємства;
- за умов використання енергетичного потенціалу 98,4% забезпечується надлишок виробництва теплової та електричної енергії, обладнання для реалізації існує.

Перший та третій рівень енергозабезпечення рекомендовані для подальшого техніко-економічного аналізу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. «Національний проект» Будівництво ТЕЦ на біомасі – Режим доступу: [http://www.ukrproject.gov.ua/sites/default/files/upload/bio\\_10\\_2.ukr\\_.pdf](http://www.ukrproject.gov.ua/sites/default/files/upload/bio_10_2.ukr_.pdf)
2. Екологічні аспекти використання біопалив – Режим доступу: [www.ecolog.by/download/?id=51](http://www.ecolog.by/download/?id=51)
3. Ткаченко С. Й. Перспективні напрямки використання біомаси як джерела енергії/С.Й.Ткаченко, Л.А.Боднар, А.О.Юзюк. –Вінниця: Вісник ВПІ, 2011.–№ 2. –С.68-73
4. Ткаченко С. Й. Аналіз роботи протитискових турбін на теплоцентралях / С. Й. Ткаченко, М.М.Чепурний. – Вінниця: Вісник ВПІ, 2010. – № 1. – С.52-54.
5. Ткаченко С. Й. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії/ Ткаченко С. Й., М. М. Чепурний, Н. В. Пішеніна. –

Вінниця: Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1. Режим доступу:  
<http://www.nbu.gov.ua/ejournals/NNTU/2010-1failes/uk/.htm>. – С.54-57.

6. Сайт підприємства «Енергомаш проект» - Режим доступу:  
<http://www.energomashproekt.com/page/text/name=bio>

7. Сайт підприємства «Cannon bono energia» - Режим доступу:  
<http://www.bono.it/energia/ru#>

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

**Денесяк Дмитро Іванович** – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: [doc13energee@gmail.com](mailto:doc13energee@gmail.com).

Науковий керівник: **Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: [stahit@mail.ru](mailto:stahit@mail.ru).

**Stanislav Tkachenko** - Dc. Sc., Professor, Head of the power system.

**Denesyak Dmitry** - graduate student of heating, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: [doc13energee@gmail.com](mailto:doc13energee@gmail.com).

Supervisor: **Stanislav Tkachenko** - Dc. Sc., Professor, Head of the power system, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: [stahit@mail.ru](mailto:stahit@mail.ru).