



КРАЩІ З ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ДЛЯ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

КЕРІВНИЦТВО

З ВІДБОРУ ПРОЕКТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

КИЇВ • 2016



ПРОЕКТ USAID
«МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА
РЕФОРМА В УКРАЇНІ»

КРАЦІ З ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

Керівництво з відбору проектних технологій
для житлово-комунального господарства України

Лютий 2016 р.

Цей документ розроблено для розгляду Агентством США з міжнародного розвитку (USAID).
Підготовлено Проектом USAID "Муниципальная энергетическая реформа в Украине".

УДК 620.92:697.34](477)(07)
ББК 31(4Укр)я7+38.762.1(4Укр)я7
Б63

Авторський колектив:

*Василь Вовчак, Олександр Тесленко,
Олексій Самченко, Діана Сушкова*

Редакція:

Сергій Єрмілов

Рецензенти:

*Євген Нікітін, Володимир Федоренко, Руслан Тормосов, Вадим Литвин,
Анатолій Колієнко, Семен Драгнєв, Олена Чернікова, Олексій Соломаха,
Тетяна Литвин, Михайло Шарков, Юрій Грисюк, Олег Горбунов*

**«Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства
Б63 України».** Керівництво з відбору технологій/Під редакцією С. Єрмілова. – К.: «Полі-
граф плюс», 2016. – 134 с.: іл.

ISBN 978-966-8977-63-3.

Керівництво з відбору технологій «Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України» підготовлено Проектом USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні».

В цьому Керівництві представлено короткий опис найкращих з доступних технологій, які можуть бути впроваджені у таких секторах житлово-комунального господарства (ЖКГ), як тепло та водопостачання, громадський транспорт, освітлення та поводження з твердими побутовими відходами для підвищення ефективності їх роботи та скорочення споживання енергоресурсів.

Керівництво з відбору технологій призначено перш за все для розробників проектів і осіб, що приймають рішення (міська влада) щодо вибору кращих технологій з енергоефективності та відновлюваних джерел енергії для секторів ЖКГ, які призводять до скорочення викидів парникових газів.

УДК 620.92:697.34](477)(07)
ББК 31(4Укр)я7+38.762.1(4Укр)я7

Цей документ був підготовлений завдяки підтримці, наданій Агентством США з міжнародного розвитку (USAID).

Думки авторів, викладені у цій публікації, можуть не співпадати з позицією Агентства США з міжнародного розвитку чи Уряду Сполучених Штатів Америки.

Усі права захищені.

Електронна версія посібника доступна на сайті ТОВ «Інститут проблем екології та енергозбереження»
<http://www.ipee.org.ua/>

Використання тексту Керівництва можливе за умови посилання на джерело інформації.

Благодійна допомога. Продаж заборонено.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	4
Вступ	6
1 Найкращі доступні технології для систем виробництва теплової енергії	9
1.1. Загальна інформація	9
1.2. Спалювання твердої біомаси рослинного походження у сучасних біопаливних котлах	9
1.3. Використання енергії сонця за допомогою сонячних колекторів	33
1.4. Використання енергії довкілля за допомогою теплових насосів	41
2 Найкращі доступні технології для систем водопостачання та водовідведення	49
2.1. Загальна інформація	49
2.2. Застосування полімерних матеріалів для заміни зношених водопровідних та каналізаційних мереж	50
2.3. Використання частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів	58
2.4. Регулювання тиску в мережі водопостачання	61
2.5. Впровадження автоматизованих систем управління процесами водопостачання та водовідведення	65
2.6. Утилізація мулового осаду з метою отримання енергії	70
2.7. Висновки та рекомендації	80
3 Найкращі доступні технології для громадського транспорту	82
4 Найкращі доступні технології для систем освітлення	90
5 Найкращі доступні технології для систем поводження з твердими побутовими відходами	98
5.1. Загальна інформація	98
5.2. Роздільний збір та рециклінг твердих побутових відходів	99
5.3. Утилізація твердих побутових відходів з метою отримання енергії	100
5.4. Захоронення відходів на полігонах та отримання біогазу	111
ВИСНОВКИ	132

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

CNG	Compressed natural gas (укр. – стиснений природний газ)
COP	Coefficient of performance (укр. – коефіцієнт перетворення теплової енергії)
LED	Light-emitting diode (укр. – світлодіодні системи освітлення)
LNG	Liquefied natural gas (укр. – зріджений природний газ)
ORC	Organic Rankine Cycle (укр. – органічний цикл Ренкіна)
TNA	Technology Needs Assessment (укр. – оцінка потреб технологій)
USAID	United States Agency for International Development (укр. – Агентство США з міжнародного розвитку)
АР	Автономна Республіка
АСКОЕ	Автоматизована система комерційного обліку електроенергії
АСУ	Автоматизована система управління
АСУ ТП	Автоматизована системи управління технологічним процесом
ВЗУ	Водозабори і водозабірні вузли
ВНС	Водопровідні насосні станції
ВОЕ	Відходи для отримання енергії
ГВП	Гаряче водопостачання
ГДК	Гранично допустима концентрація
ГКНС	Головна каналізаційна насосна станція
ГТ	Газова турбіна
ДВЗ	Двигун внутрішнього згорання
ДНаТ	Натрієві лампи високого тиску
ЄС	Європейський Союз
ЖКГ	Житлово-комунальне господарство
ЗГ	Звалищний газ
ЗЗГ	Зріджений звалищний газ
ККД	Коефіцієнт корисної дії
КЛЛ	Компактні люмінесцентні лампи
КНС	Каналізаційні насосні станції
КПВ	Комплексне поводження з відходами
ЛЛ	Люмінесцентна лампа
МТ	Мікротурбіна
НАН	Національна академія наук
ООН	Організація Об'єднаних Націй
ОПТ	Оцінка потреб в технологіях
ПА	Поліамід
ПБ	Полібутилен
ПВХ	Полівінілхлорид

ПГ	Парникові гази
ПДВ	Податок на додану вартість
ПЕ	Поліетилен
ПЕТ	Поліетилентерефталат
ПНС	Підвищувальні насосні станції
ПП	Поліпропілен
СЗГ	Стиснутий звалищний газ
СНВР	Стратегія низьковуглецевого розвитку
СНД	Співдружність Незалежних Держав
ССЗ	Сміттеспалювальні заводи
ССТ	Сонячні системи теплопостачання
США	Сполучені Штати Америки
ТЕО	Техніко-економічне обґрунтування
ТЕС	Теплоелектростанція
ТЕЦ	Теплоелектроцентраль
ТН	Тепловий насос
ТПВ	Тверді побутові відходи
УПМ	Установка переробки матеріалів
ЧРП	Частотно-регульований електропривід

ВСТУП

Стратегія низьковуглецевого розвитку (СНВР) – це сукупність комплексних, поетапних, багаточільових процесів, які мають на меті допомогти країнам визначити їх власні напрямки політики, цілі та шляхи їх досягнення у сфері скорочення викидів парникових газів (ПГ), покращення своїх економічних та енергетичних систем та реалізувати їх справедливим і рівноправним чином. Необхідність впровадження СНВР наголошується рішеннями Рамкової конвенції ООН про зміну клімату.

Процес СНВР спрямований на використання потенційної синергії між різними цілями, які часом конкурують між собою і вимагають компромісів. Завдяки поглибленому розумінню, відбору, структуруванню, оцінці та виконанню конкретних дій, процес СНВР дає змогу одночасно досягти багатьох цілей, наприклад:

- стале і надійне економічне зростання;
- зростання доходів та рівня зайнятості населення;
- створення нових робочих місць у «зелених», «чистих» або низьковуглецевих галузях і/або економічна реструктуризація із зосередженням на «зелених» і низьковуглецевих галузях;
- заміна використання викопного палива використанням відновлюваних джерел енергії і палива з низьким рівнем викидів;
- збільшення внутрішнього виробництва енергії, диверсифікація і зменшення імпорту викопних енергоносіїв;
- скорочення викидів парникових газів з багатьох джерел і секторів;
- зменшення забруднення повітря і води на місцевому і регіональному рівнях;
- зменшення споживання води, земельних та інших природних ресурсів;
- покращення міського і сільського середовища та умов життя, а також покращення стану здоров'я міських і сільських мешканців.

Сьогодні СНВР в Україні поки не затверджена

на законодавчому рівні, проте є низка нормативно-правових актів, які спрямовані на скорочення викидів парникових газів, скорочення використання енергетичних та інших природних ресурсів, освоєння відновлюваних джерел енергії.

Збільшення обсягів використання відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі України надасть змогу підвищити рівень диверсифікації джерел енергоносіїв, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави та зниженню антропогенного впливу енергетики на навколишнє природне середовище, про що йдеться у Енергетичній стратегії України на період до 2030 року¹.

Як член Енергетичного Співтовариства, Україна має зобов'язання ввести в дію нормативно-правові акти, необхідні для виконання вимог Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 р. про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел².

Згідно з Рішенням Енергетичного Співтовариства D/2012/04/MC-EnC³ Україна взяла на себе зобов'язання до 2020 року досягти рівня 11 відсотків енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, в загальній структурі енергоспоживання країни. Це зобов'язання також визначене Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1.10.2014 № 902-р⁴, а саме – використовувати тверду біомасу в енергетичному еквіваленті 3,9 млн. т н.е., що відповідає 4,9 млрд. м³ природного газу (з них 2,7 млн. т н.е. в системі централізованого опалення та 1,2 млн. т н.е. для домогосподарств). У контексті ведення комплексної низьковуглецевої політики, ключовим кроком для держави є вибір технологій, які дадуть можливість досягнути сталого розвитку та забезпечити охорону навколишнього середовища шляхом скорочення викидів забруднюючих речовин та зменшення антропогенного навантаження в цілому. З цією метою для країн, що розвиваються, було розроблено інструмент оцінки

¹ <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13/paran3#n3>

² http://sae.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28.pdf

³ https://www.energy-community.org/portal/page/portal/ENC_HOME/DOCS/1766219/Decision_on_the_implementation_of_Directive_2009-28-EC_signed_18-10-2012.pdf

⁴ <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>

потреб в технологіях (ОПТ, англ. – Technology Needs Assessment (TNA)), який визначає гнучкий та систематичний підхід для вибору пріоритетних технологій для визначених секторів економіки держави.

Цей документ містить перелік найкращих доступних та пріоритетних технологій пом'якшення впливу на навколишнє середовище для галузей житлово-комунального сектору України (теплопостачання, водопостачання, водовідведення, поводження з твердими побутовими відходами, системи транспорту та зовнішнього освітлення), які були визначені після проведення низки досліджень та аналізів специфічних національних особливостей з використанням інструменту оцінки потреб в технологіях. Після визначення пріоритетних технологій для сектору інструмент ОПТ передбачає наступні етапи, які заплановано проводити в майбутньому:

- залучення зацікавлених сторін до консультативного процесу для визначення бар'єрів, які перешкоджають впровадженню пріоритетних технологій та визначення заходів для їх подолання за допомогою методу мультикритеріального аналізу;
- спрямування зусиль на екологічно чисті та енергоефективні технології з метою виконання завдань пом'якшення впливу на навколишнє середовище, перегляду нормативних параметрів, розроблення фінансових стимулів та збільшення потенціалу.

Житлово-комунальне господарство (ЖКГ) — це багатогалузевий комплекс, починаючи з житла, теплопостачання, водопостачання, водовідведення, благоустрою, доріг і мостів і закінчуючи ритуальними послугами.

Головними проблемами житлово-комунальної галузі України є застарілість обладнання, неефективність керівництва, невміння вчасно попереджати проблеми та несистемний підхід до їх вирішення.

Дві третини житла в Україні побудовано до 70-х років минулого століття. Понад третину житлових будинків потребують капітального ремонту. Більше третини котлів, що забезпечують теплом багатоквартирні будинки, є застарілими і енергоємними. Імпортований коштовний природний газ використовується з низькою ефективністю. Комунальна інфраструктура зношена більш ніж на 60 %. П'ята частина теплових мереж перебуває в аварійному стані. Не дивно, що за останні 10 років кількість аварій теплових мереж зросла майже у 5 разів.

Житлово-комунальна сфера України – це на

сьогодні чи не єдина галузь народного господарства, якої не торкнулися ринкові перетворення. Вона працює за найгіршими зразками радянських часів. Несприятливі економічні та інституційні умови функціонування галузі ЖКГ України, адміністративне втручання у ціноутворення та відсутність сильної політичної волі проводити структурні реформи у цьому секторі суттєво зменшують його ефективність. Термін «комунальна інфраструктура» описує комплекс технічних засобів, необхідних для надання основних послуг місту. Інфраструктура включає системи водопостачання і водовідведення, очисні споруди, системи енерго-, тепло- і газопостачання, автошляхи, системи зв'язку і громадський транспорт. Витрати на технічне обслуговування та прагнення до підвищення якості комунальних послуг, що надаються населенню, вимагають серйозних інвестицій, нових підходів у самоорганізації населення та вищого рівня організаційного менеджменту.

Найбільшими секторами комунальної інфраструктури, які потребують повномасштабної модернізації із залученням найкращих технологій, є:

1. Теплопостачання (зокрема, виробництво теплової енергії);
2. Водопостачання та водовідведення (разом з очисними спорудами);
3. Громадський транспорт;
4. Зовнішнє освітлення;
5. Поводження з твердими побутовими відходами.

Виходячи з цього, Уряд України оголосив своїм пріоритетом поступове проведення реформи ЖКГ, зокрема, приведення цін на основні комунальні послуги, головним чином, на теплову та електричну енергію, до ринкових, що призведе до конкуренції, а також підвищення ефективності споживання енергоресурсів та розвиток і освоєння відновлювальних джерел енергії тощо.

Ці заходи мають на меті покращити інвестиційну привабливість ЖКГ України та залучити ресурси в інвестування новітніх енергоефективних та екологічних технологій.

Високі обсяги споживання енергії в ЖКГ України свідчать про значний потенціал енергоефективності та інвестування. Проте основними перешкодами для цього є неефективний механізм інформування щодо потенціалу модернізації ЖКГ (економічні агенти мають загалом низький рівень обізнаності щодо сучасних технологій), спотворення цін, коли енергія значною мірою субсидується з боку держави,

обмеженість доступу до фінансування на фоні гострого дефіциту державного фінансування тощо.

Окрім цього, не налагоджено ефективної співпраці з приватними інвесторами, міжнародними фінансовими інституціями, донорськими організаціями. Не створено сприятливого мікроклімату ведення бізнесу. Залишається непрозорою, складною та тривалою процедура вирішення дозвільних питань, як наприклад, земельного характеру, під'єднання до мереж тощо.

Всі ці питання потребують особливої уваги, оскільки вони впливають на економічну доцільність та впровадження проектів модернізації ЖКГ.

Впровадження нових технологій в ЖКГ є кроком в напрямку до інноваційного та сталого низьковуглецевого розвитку держави та забезпечення вищих стандартів життя громадян.

Цей документ розроблений у відповідності до Завдання 4.2.8.2 «Розроблення керівництва з відбору проектних технологій» в рамках проекту USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні».

Це Керівництво призначено перш за все для розробників проектів і осіб, що приймають рішення (міська влада) щодо вибору кращих технологій з енергоефективності та поновлюваних джерел енергії для секторів ЖКГ, які призводять до максимально ефективного зниження викидів парникових газів.

У цьому Керівництві представлено короткий опис найкращих доступних технологій, які можуть бути впроваджені у зазначених секторах ЖКГ для підвищення ефективності їх роботи та скорочення споживання енергоресурсів.

Опис технологій включає:

- коротку характеристику та принцип роботи енергозберігаючого обладнання;

- основні техніко-економічні показники технологічного обладнання, яке працює за відповідною технологією;
- основні переваги та недоліки тієї чи іншої технології або обладнання;
- сферу застосування та технологій, основні критерії щодо вибору і впровадження технологічного обладнання тощо.

Більш детальний опис технологій, їх характеристика, досвід впровадження, детальні техніко-економічні розрахунки тощо наведені у:

1. Керівництві з відбору проектних технологій для житлово-комунального сектору України. Звіт в 3-х томах. Підготовлений ТОВ «Інститут проблем екології та енергозбереження» Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні».- Київ, 2015 р.
2. Практичному посібнику «Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні». Підготовлений Громадською організацією «Агентство з відновлювальної енергетики» (АВЕ). Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». – Київ, 2015 р.
3. Практичному посібнику «Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії» / Під загальною редакцією Тормосова Р. Ю., Романюк О. П., Сафіуліної К. Р. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». – Київ, 2015 р.
4. Практичному посібнику «Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення» / Під загальною редакцією Тормосова Р. Ю. Підготовлено Проектом USAID «Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород». Київ, 2015 р.

НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1. Загальна інформація

Система тепlopостачання - сукупність джерел теплової енергії, магістральних та/або місцевих (розподільних) теплових мереж, засобів розподілення теплової енергії, які об'єднані спільним режимом виробництва, транспортування та постачання теплової енергії.

Теплова енергія витрачається для задоволення потреб населення, комунально-побутових і промислових споживачів. За призначенням і характером використання теплової енергії розрізняють теплоспоживачів: 1) системи опалення; 2) системи вентиляції і кондиціонування повітря; 3) системи постачання гарячої води для санітарно-побутових потреб; 4) технологічні процеси виробництва.

Промисловість для цілей виробництва споживає тепло високих параметрів (180 – 200 °C), частіше у вигляді пари, менше у вигляді гарячої води. Для опалення будівель і на побутові потреби потрібне тепло низького потенціалу (від 40 до 120 °C).

Обсяги й структура споживання теплової енергії в містах України неоднакові і обумовлені такими факторами: чисельністю населення міста; рівнем розвитку промисловості та її галузевим складом, які характеризують потреби теплової енергії для промисловості; обсягом наявного житлового фонду і рівнем його благоустрою та ін.

У структурі споживання теплової енергії будь-якого міста значну частину складають витрати на побутові потреби, пов'язані з опаленням та гарячим водопостачанням житла.

Тепlopостачання є найбільш витратною галузю комунального господарства, що функціонує за рахунок коштів місцевих та державного (субсидії) бюджетів. Тому постає концептуаль-

не завдання щодо скорочення обсягів фінансування галузі за рахунок використання новітніх технологій та збільшення зацікавленості споживачів послуг до економії енергоресурсів теплової енергії. На поточний час в вітчизняних технічних літературних джерелах достатньо детально висвітлені сучасні технології, обладнання та матеріали щодо підвищення ефективності використання тепла кінцевим споживачем у ЖКГ, зокрема, комплексна термомодернізація будівель шляхом підвищення теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій, даху, фундаменту, вікон та дверей, регулювання теплоспоживання в залежності від температури зовнішнього повітря, попередньо ізолювані трубопроводи тощо.

Аналіз структури собівартості 1 Гкал свідчить, що найбільша частка витрат, пов'язаних із виробництвом та постачанням тепла, припадає на паливо (від 55% до 75 %). Це пов'язано і з понаднормованими втратами теплової енергії при виробництві та транспортуванні, і з вартістю енергоносіїв. Однією з основних причин надмірних витрат палива є низький коефіцієнт корисної дії обладнання.

Тому основна увага в цьому розділі приділена виробництву теплової енергії із застосуванням найкращих енергоефективних технологій, що використовують відновлювальні джерела енергії та види палива, а саме:

- спалювання твердої біомаси рослинного походження у сучасних біопаливних котлах;
- використання енергії сонця за допомогою сонячних колекторів;
- використання енергії доквілля за допомогою теплових насосів.

1.2. Спалювання твердої біомаси рослинного походження у сучасних біопаливних котлах

Наявність біопаливних ресурсів в Україні

Тверде біопаливо – тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, у тому

числі дрова, торф, тирса, тріска, солома, інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, вироблені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина⁵.

⁵ <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1391-14> - Закон України «Про альтернативні види палива»

⁶ <http://www.uabio.org/img/files/news/pdf/geletukha-uspp-2-10-2014.pdf>

Згідно з оцінками експертів Біоенергетичної асоціації України⁶ в Україні вже в 2012 році досягнуто використання суттєвої частини енергетичного потенціалу таких видів твердої біомаси, як деревина (93%) та лушпиння соняшника (61%), при цьому солома майже не використовується в якості палива (лише близько 1%), хоча саме вона має найбільший енергетичний потенціал згідно з розрахунками експертів Інституту технічної теплофізики НАН України⁷:

- солома зернових культур – 4,54 млн. т у.п./рік;
- відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стержні початків) – 4,39 млн. т у.п./рік.

Використання соломи, що є відходами (побічним продуктом), як біопалива для одержання теплової енергії, – це раціональний спосіб її утилізації. Важливими аргументами використання такого палива в енергетичних цілях є наступні його властивості:

- CO₂-нейтральність, внаслідок чого це паливо є екологічно безпечним джерелом енергії з огляду на умови перспективного низьковуглецевого розвитку теплоенергетики. У процесі життєдіяльності сільськогосподарських рослин поглинається тодішня кількість вуглекислого газу, яка виділяється під час їх спалювання;
- місцевий вид палива, який має значну та розповсюджену сировинну базу сільськогосподарських районах;
- солома – це побічний продукт (або відходи) вирощування зернових культур, який щорічно відновлюється і тому є дешевим видом палива порівняно з традиційними.

Таким чином, для України використання соломи в якості первинного джерела енергії для виробництва теплової енергії на потреби опалення та гарячого водопостачання є першочерговим пріоритетом енергетичного використання потенціалу місцевих видів біопалива.

Концепція розвитку біотеплоенергетики України

За результатами аналізу чинної нормативної документації України щодо надійності відпуску теплоти споживачам різних категорій, що є приєднаними до централізованих систем тепlopостачання, спеціалістами ВБО «Інститут місцевого розвитку» запропонована концеп-

ція розвитку біотеплоенергетики України, яка може бути застосована також і для розвитку автономних систем тепlopостачання: використання біомаси в якості палива в системах централізованого тепlopостачання може бути успішним лише на основі створення гібридних комбінованих котельних, які мають працювати як на біопаливі, так і на природному газі. При цьому базове основне теплове навантаження буде компенсуватися роботою біокотлів, а пікове збільшення навантаження у періоди суттєвого зменшення температури зовнішнього повітря буде компенсуватися за рахунок роботи котлів на традиційному викопному паливі – природному газі. Крім цього, наявність на котельній котлів на традиційному викопному паливі – природному газі є дублюючим чинником, який забезпечує резервування теплогенеруючих потужностей у випадку аварійних ситуацій тощо⁸.

Зокрема, за результатами техніко-економічного передпроектного дослідження щодо вибору оптимального варіанту за критеріями мінімальних капітальних та експлуатаційних затрат реконструкції існуючої газової котельні в м. Миргород із встановленням біоенергетичного теплогенеруючого котельного обладнання визначено, що доцільним буде забезпечення біопаливним котлом близько 60...70% приєданого теплового навантаження котельні, а газовими котлами – 30...40%, відповідно. Наведений концептуальний підхід дозволяє виконувати модернізацію існуючих газових котельних із збереженням частини вже встановлених газових котлів з переведенням їх у піково-резервний режим експлуатації. При цьому технологічному рішенні відносно недорогі газові котли, які використовують високоартісний імпортований природний газ, більшу частину опалювального сезону знаходяться у резерві, а дорогі біокотли, які використовують дешеве біопаливо, працюють протягом всього опалювального сезону (або цілорічно для виробництва гарячої води). Крім цього, використання існуючої інфраструктури транспортування, розподілу та постачання теплової енергії споживачам суттєво зменшують капітальні витрати на встановлення біопаливних котлів при модернізації існуючої газової котельні, порівняно з будівництвом нової біопаливної котельні. Така схема впровадження та експлуатації котлів гібридної котельні забезпечує суттєве скорочення термінів окупності

⁶ <http://www.uabio.org/img/files/news/pdf/geletukha-uspp-2-10-2014.pdf>

⁷ <http://www.uabio.org/img/files/docs/bioenergy-in-ukraine-part1-2015.pdf>

⁸ Звіт "Виробництво теплової енергії із біомаси: аналіз законодавства, регуляторних аспектів і податкової політики та рекомендації щодо необхідних змін у чинному законодавстві", Проект "Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород" за фінансування Агентства США з міжнародного розвитку (USAID)

інвестиційних проєктів із застосуванням біо-паливних котлів до 3-5 років.

Досвід використання

Стан виробництва та впровадження біо-паливних котлів в Україні характеризується домінуванням на ринку котлів, призначених для спалювання деревини, а також лушпиння соняшника (промислові котли на олійних підприємствах). На формування такої ситуації вплинули наступні чинники: а) доступність деревини як відходів деревообробки і лісництва; б) властивості деревини, як більш якісного палива; в) широкий вибір на ринку доступного та надійного котельного обладнання для спалювання деревини.

Обладнання для спалювання деревини (котли та допоміжне обладнання для підготовки, зберігання, автоматичної подачі палива, зокрема тріски, та видалення золи) широко представлене в Україні, не має технологічних труднощів та не є технологічно унікальним і може бути впроваджене в регіонах України із значним потенціалом цього виду відновлювального твердого біопалива.

Докладний опис технології спалювання деревини в якості палива в біопаливних котлах наведено у Практичному посібнику «Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні», який підготовлений Громадською організацією «Агентство з відновлювальної енергетики» (АВЕ) в рамках виконання Проєкту «Сприяння заміщенню природного газу біомасою при виробництві теплової енергії», що фінансується Проєктом USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні».

В регіонах України, де є дефіцит деревини, але достатньо таких щорічно відновлювальних відходів рослинництва, як солома, доцільно впроваджувати котли, які здатні спалювати соломку. Зважаючи на це, а також на значний

енергетичний потенціал соломи, як біопалива, в цьому Керівництві приділено основну увагу сучасним технологіям її спалювання.

На сьогодні в Україні котли для спалювання гранульованої або посіченої соломи серійно не виробляються. Є поодинокі спроби застосувати для спалювання соломи традиційні біо-паливні котли, які призначені, головним чином, для спалювання деревини (наприклад, у м. Кам'янець-Подільський застосовані для спалювання біологічного палива, у тому числі солом'яних пелет, котли компанії «Ретра»). Водночас деякі українські виробники планують налагодити серійне виготовлення котлів для спалювання солом'яних пелет і провадять дослідно-промислову експлуатацію перших зразків, зокрема компанії «Кригер», ПАТ «УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ», УКРТЕПЛО та інші.

Спалювання твердого біопалива в котлах вимагає організації специфічного технологічного процесу (порівняно зі спалюванням природного газу), який передбачає:

- складування та підготовку палива для спалювання;
- подачу палива в котел;
- спалювання палива в котлі;
- видалення та очищення димових газів;
- видалення, складування та утилізацію золи.

Основними системами для спалювання біопалива в котлах є наступні:

- система накопичення та зберігання палива (паливний склад);
- система підготовки палива (подрібнення);
- система подачі палива в котел;
- система видалення золи;
- склад золи та її утилізація;
- система видалення та очищення димових газів.

Основне обладнання біопаливної котельні наведено на рис. 1.1, а саме:

1. Котел
2. Гідралічний механізм подачі палива
3. Гідралічний механізм колосникової решітки
4. Рекуператор
5. Мультициклонна установка
6. Димосос
7. Димова труба
8. Подавальний транспортер палива
9. Розподільчий транспортер палива
10. Транспортер видалення золи
11. Паливний склад з рухомим дном



Рис. 1.1 – Основне обладнання котельного відділення

Технологічні вимоги до допоміжного обладнання біопаливних котлів обумовлені:

- зберіганням, підготовкою та подачею палива до котла (пелети, тріска – рухома підлога або бункер типу силос з норією/пневмозавантажувачем без автозавантажувачів; посічена солома – складування в тюках, подрібнювач з автозавантажувачем/краном);
- видаленням та зберіганням золи (сухе золовидалення рекомендується для котлів тепловою потужністю до 1 МВт – займає менше місця, суха зола не замерзає на морозі, але є засмоктування повітря в котел, що може знизити ККД котла; вологе золовидалення рекомендується для котлів тепловою потужністю понад 1 МВт – потребує більше місця для розташування, волога зола замерзає на морозі, тому необхідний обігрів накопичувача вологої золи та його дренажування від води, але відсутнє засмоктування повітря в котел);
- очищенням поверхонь нагріву (ручним для котлів тепловою потужністю до 0,5 МВт або автоматизованим: пневматичним для водогрійних котлів потужністю до 10 МВт та автоматизованим паровим обдутьям для енергетичних котлів потужністю понад 20 МВт);
- очищенням димових газів: мультициклони, електрофільтри, рукавні фільтри з тканини, очищувачі вологого типу;
- високими димовими трубами для забезпечення достатнього розсіювання димових газів згідно з екологічними вимогами.

Використовуючи соломку, як паливо, на потужних котлах, рекомендується встановлювати фільтри відхідних газів для забезпечення виконання вимог природоохоронного законодавства щодо запобігання забруднення атмосферного повітря. Практика ЄС рекомендує для котлів великої потужності використовувати різноманітні фільтри для очистки димових газів, як наприклад, циклон/мультициклон, рукавний фільтр, електростатичний фільтр, скруббер та технологія конденсації димових газів. В ЄС діють жорсткі вимоги щодо очистки димових газів для біопаливних котлів, що мають потужність понад 50 МВт.

В пелетних котлах на таких технологіях передбачені зольні контейнери для збору золи. У простих моделях котлів (або котлах невеликої потужності) передбачено періодичне

ручне видалення золи – з наповненням зольного контейнера необхідно виймати зольний контейнер, спорожнити його і встановлювати знову у котел. Періодичність цієї операції безпосередньо залежить від якості палива та налаштувань котла (робочої потужності). За оцінками експертів⁹ видаляти золу необхідно із періодичністю:

- у разі використання якісних дерев'яних пелет: 5-7 днів;
- у разі використання агропелет, зокрема з соломи: 2-3 дні;
- у разі використання вугілля: кожного дня.

У більш функціональних, автоматичних пелетних котлах передбачено обладнання автоматичного золовидалення - зола за допомогою шнекового транспортера відводиться в зовнішній зольний контейнер. Автоматичне золовидалення, автоматичне очищення газоходів і наявність паливного складу дозволяють звести до мінімуму обслуговування системи твердопаливного автономного опалення до рівня автоматизації газового котла.

Однією з найпростіших конструкцій котла для спалювання соломи є котел, який дозволяє спалювати її у вигляді тюків. Котел такої конструкції (виробництва ВАР «Південтеплоенергомонтаж» за ліцензії датської компанії Passat Energi) працює періодично: тюк соломи за допомогою фронтального підйомника або трактора-завантажувача завантажують через відкриті двері топки котла, паливо підпалюється і двері закриваються. подача повітря дуття і його розподіл за обсягом топки регулюється відповідно до вигорання тюка соломи. З вигоранням тюка соломи теплопродуктивність котла падає. Щоб компенсувати падіння теплопродуктивності, котел такої конструкції обладнується акумулятором тепла (баком гарячої води). Наприклад, обсяг бака - акумулятора котла RAU-2-1210 фірми «PASSAT Energi A/S» (Данія), що має теплопродуктивність 980 кВт і встановленого на агрофермі «Дим» (с. Дрозди, Київська область, Україна), дорівнює 32 м³. Необхідність установки бака-акумулятора і складної системи регулювання та розподілу повітря робить такі котли досить дорогими, тим більше, що ККД таких котлів на 10% менший, ніж у котлів, які спалюють подрібнену соломку¹⁰. Широкого застосування в Україні такі котли не отримали.

Ряд виробників країн ЄС (Passat Energi, Lin-ka, Alcon, WEISS та ін.) пропонують котли тепловою потужністю від 400 кВт до 10 МВт і вище з

⁹ http://eco-energy.com.ua/ukr/sb_operating_principle_of_pellet_boilers_ukr.html

¹⁰ <http://biocentr.web.tstu.ru/Publikacii/promenergo06.doc>

безперервним (автоматичним) спалюванням цілих або подрібнених тюків. Такі котли можуть застосовуватися в системах централізованого тепlopостачання великої потужності. Щоб уникнути потреби оснащувати кожен котел чи кожну котельню установкою для подрібнення соломи, останню бажано гранулювати на спеціальних централізованих установках. З логістичної точки зору, солом'яні пелети (гранули) легко транспортувати на значні відстані без ризику їх руйнування. Подача гранул в топку котла може бути легко механізована і автоматизована.

Вплив на навколишнє середовище

Загалом використання біологічної сировини в якості палива вважається нейтральним по відношенню до викидів парникових газів. Проте це твердження не враховує викидів парникових газів в результаті збору сировини та транспортування, а також використання електроенергії для роботи котельного обладнання. Ці показники вираховуються в середньому в

країні з урахуванням типових витрат вичопного палива (дизелю та бензину) на транспортування та збір сировини і виробленого біологічного палива, а також конкретних обсягів споживання енергоресурсів безпосередньо на місці встановлення установок.

Загалом на виробництво 1 Гкал теплової енергії, зазвичай, витрачається 130-140 м³ природного газу. Це означає, що використання біопалива дає змогу скоротити викиди на 0,24-0,26 т CO₂ екв на кожну вироблену Гкал теплової енергії порівняно з природним газом. Викиди інших забруднювачів визначаються в кожному окремому випадку.

Рекомендації щодо вибору технологій спалювання біопалива

Характеристики соломи, як біопалива

В таблиці 1.1 наведені загальні характеристики, соломи, тріски, солом'яних і деревних гранул в якості палива.

Таблиця 1.1

Загальні характеристики соломи і деревних гранул¹¹

Паливо	Щільність, кг/м ³	Вологість, %	Нижча теплотворна здатність*, МДж/кг	Вміст золи, % сухої маси	Енергетична щільність ГДж/м ³
Солома (посічена)	50	10-20%	14,5	5	0,7
Солом'яні (великі) тюки	130	10-18%	14,5	5	1,9
Солом'яні гранули	600	<10%	15,0	5	9
Тріска	250	10-50%	11-17	0,5	4,3
Тирса	200	20-50%	12-17	0,5	3,4
Деревні гранули	650	<10%	17,5	0,5	11,4
Вугілля кам'яне	850	10-15%	24	12	20,4

* Нижча теплотворна здатність варіюється залежно від вмісту вологи. Енергетична щільність розраховується для висушеного матеріалу.

При гранулюванні твердого біопалива досягаються два основних ефекти: зменшення вмісту вологи та підвищення об'ємної і, як наслідок, енергетичної щільності. Гранулювання соломи дозволяє перейти від 15-20% до <10% вмісту вологи в біопаливі та від 130 до 600 кг/м³ об'ємної щільності біопалива. Солом'яні гранули мають дещо нижчу об'ємну щільність і меншу щільність у порівнянні з деревними гранулами. Гранульоване біопаливо надає можливість повністю автоматизувати систему його зберігання, транспортування та подачу до котла, а також суттєво зменшити необхідні площі для складування біопалива.

Солома як паливо має специфічні властивості, а саме низьку температуру спікання золи (приблизно 850°C) порівняно з деревиною (1200°C), що обумовлено більш високим вмістом в ній хімічних сполук, зокрема калію (K) та кремнію (Si) порівняно з деревиною. Ця обставина обумовлює спікання золи у вигляді склоподібних агломератів під час згоряння соломи за високих температур, які ускладнюють якісне згоряння палива, спричиняють налипання золи на поверхні нагріву всередині котла та унеможливають механізоване видалення золи з котла. Солома також має ряд інших характеристик, які ускладнюють її спалювання, зокрема, високу зольність, порівняно високий вміст сірки та хлору тощо.

¹¹ Pellets for Europe ALTENER 2002-012-137-160 <http://www.pelletcentre.info/resources/1093.pdf>

До вибору технології спалювання

З огляду на специфіку використання соломи, як палива в котлах, рекомендується застосовувати пристосовані для цього технології спалювання, які мають конструктивні особливості для забезпечення температурного режиму в топці: охолодження твердої частини палива первинним повітрям та рециркуляцією димових газів до камери згоряння; водяне охолодження колосникової решітки, багатоступеневе згоряння легких горючих із застосуванням вторинного повітря тощо.

Котли, пристосовані для спалювання соломи, спроможні якісно спалювати будь-які види твердого біопалива - деревину, лушпиння соняшника, стебла кукурудзи, торф тощо. Тоді як котли,

конструктивно призначені для спалювання тільки деревини, неспроможні спалювати солому.

Виходячи з цих технологічних обставин, багатопаливні (універсальні) твердопаливні котли, які здатні спалювати солому, є перспективними для використання у ЖКГ України, оскільки здатні забезпечити універсальність щодо використаного палива.

В таблиці 1.2 надається опис та характеристика найкращих доступних технологій, що використовуються в державах ЄС та інших державах світу для спалювання твердого біопалива, у тому числі з відходів рослинництва, зокрема соломи та пелет з них, для виробництва теплової та електричної енергії (головним чином теплової енергії).

Таблиця 1.2

Типи печей з типовим застосуванням палива і можливість спалювати солом'яні пелети

Застосування	Тип	Потужність	Паливо	Вологість
Малої потужності	Котел на пелетах	10 кВт-50 кВт	Солом'яні та Деревні пелети	8-10%
	Котел	50 кВт-150 кВт	Солом'яні та деревні пелети, інша біомаса	5-50%
Середньої та великої потужності	Котел з механічною топкою	20 кВт-2,5 МВт	Дерев'яна тріска, відходи деревини	5-50%
	Котел з колосниковою решіткою	150 кВт -15 МВт	Все деревне паливо та солома	5-60%
	Стационарний киплячий шар	5 МВт-15 МВт	Різна біомаса, діаметром < 10 мм	5-60%
	Циркулюючий киплячий шар	15 МВт-100 МВт	Різна біомаса, діаметром < 10 мм	5-60%
	Спалювання пиловидного палива	1 МВт-30 МВт	Різна біомаса, діаметром < 5 мм	<20%
	Стационарний киплячий шар	50 МВт-150 МВт	Різна біомаса, діаметром < 10 мм	5-50%
Сумісне спалювання*	Циркулюючий киплячий шар	100 МВт-300 МВт	Різна біомаса, діаметром < 10 мм	5-60%
	Спалювання пиловидного палива (котел на вугіллі)	100 МВт-1 ГВт	Різна біомаса, діаметром < 2-5 мм	<20%

* біомаса типово складає менше ніж 10% від загальної кількості вхідного палива

Для спалювання твердого біопалива рекомендуються використовувати котли із застосуванням:

- ретортного пальника;
- рухомих колосникових решіток;
- у киплячому шарі.

Сумісне спалювання біопалива з вугіллям із застосуванням систем вдування пиловидного палива поширене в європейських країнах, зокрема в Польщі, але ця технологія введена тільки на потужних вугільних теплових електростанціях та частка біопалива досягає

10...15% загального споживання палива. Тому ця технологія не може бути рекомендована для впровадження з метою виробництва теплової енергії в ЖКГ України та інформативно розглядається в цьому Керівництві.

Технологію спалювання у киплячому шарі рекомендується впроваджувати на енергетичних об'єктах великої потужності, особливо когенераційних біопаливних ТЕЦ, що для України перспективно з точки зору подальшої модернізації енергетичних об'єктів та виконання зобов'язань в рамках скорочення викидів парникових газів в атмосферу, розвитку відновлювальної енергетики. Однак вона має обмежені можливості для застосування в ЖКГ.

Дві інші технології – спалювання на колосникових решітках та в ретортних пальниках, можуть бути рекомендовані для спалювання твердого біопалива, у тому числі соломи, для об'єктів малої та середньої потужності в ЖКГ України.

Індикативні показники вартості

Індикативні показники вартості впровадження біопаливних котелень наведені в таблиці 1.3. В залежності від вартості сировини та тарифів, терміни окупності біопаливних котлів в Україні становлять кілька років, зазвичай, від 3 до 5 років.

Проте вартість впровадження проектів, пов'язаних з модернізацією котелень із заміщенням виду палива, зокрема природного газу (заміна газових котлів на твердопаливні), залежить від багатьох факторів, в тому числі логістики транспортування палива. Практичний досвід впровадження та експлуатації котельного обладнання свідчить, що загальна вартість проекту залежить від застосованих технологічних рішень роботи котлів. Таким чином, економічні показники проектів з використанням прогресивних технологій спалювання біомаси, в тому числі солом'яних пелет, доцільно розглядати в контексті конкретних проектів на стадії розробки ТЕО або бізнес-плану.

Таблиця 1.3

Індикативна вартість впровадження біопаливних котелень

Обладнання /роботи	Частка від витрат
Основне котельне обладнання (котел, система управління, вимірвальні прилади, насоси, вентилятори, димососи, мультициклон, фільтр димових газів регулююча арматура та приводи, запобіжне обладнання, трубопроводи та інше)	У відповідності до табл. 1.4
Додаткове котельне обладнання (паливний склад, подрібнювачі, транспортери, склад золи, димова труба, димоходи та інше)	60-80% від вартості основного обладнання
Будівельно-монтажні роботи	50-70% від вартості основного та додаткового обладнання
Проектні роботи	10% від вартості будівельно-монтажних робіт
Пусконаладжувальні роботи	10% від вартості обладнання
Загальне керівництво	2-5% від загальних витрат
Непередбачені витрати	5-10% від загальних витрат
Загальні витрати	100% (від загальних витрат)

В таблиці 1.4 наведено інформацію про котли, які реалізують наведені технології спалювання твердого біопалива та об'єкти теплоспоживання, на яких їх рекомендується застосувати.

Опис технологій

Нижче надається опис та характеристика найкращих доступних технологій та технологіч-

ного обладнання, що використовуються для спалювання соломи та пелет з них, для виробництва теплової енергії. Це спалювання твердого палива в ретортному пальнику, на колосникових решітках, вдування пиловидного палива та у киплячому шарі.

Таблиця 1.4

Рекомендації щодо вибору технології біопаливних котлів

Теплова потужність, МВт	Система постачання (споживачі)	Призначення		Технологія спалювання	Тверде біопаливо	Подача палива		Очищення димових газів	Приклад виробника (країна)	Питома вартість, євро/кВт
		Теплоносій	Видалення золи							
Від 0,025 до 0,095	Автономна (школи, дитячі садки)	Опалення, ГВП	Ручна	Ретортний паливник	Солом'яні та дерев'яні пелети, тріска	Відсутнє	Відсутнє	Енергія (Україна)	70 (котел 50 кВт)	
		Вода	Ручне, сухе							
Від 0,12 до 0,3	Автономна (школи, лікарні, поліклініки)	Опалення, ГВП	Автоматизована	Обертова колосникова решітка	Солом'яні та дерев'яні пелети, тріска, вугілля	Мультициклон	Мультициклон	Carbobot (Угорщина)	Від 190 до 95	
		Вода	Автоматизоване, сухе							
Від 1,5 до 6,5	Централізована / автономна (лікарні, санаторії)	Опалення, ГВП	Автоматизована	Нахилена рухома колосникова решітка	Солом'яні та дерев'яні пелети, тріска, посічена солома	Мультициклон та фільтр з тканини	Мультициклон та фільтр з тканини	Кригер (Україна);	Від 88 до 109	
		Вода	Автоматизоване, сухе/вологе							
Від 10,0 до 20,0	Централізована з когенерацією на ТЕЦ	Електрична та теплова енергія	Автоматизована	Нахилена рухома колосникова решітка	Солом'яні та дерев'яні пелети, тріска, посічена солома	Мультициклон та електрофільтр	Мультициклон та електрофільтр	Hurst (США)	145	
		Пара	Автоматизоване, вологе							
Від 10,0 до 50,0	Централізована з когенерацією на ТЕЦ	Електрична та теплова енергія	Автоматизована	Нахилена вібруюча колосникова решітка	Солом'яні та дерев'яні пелети, тріска, посічена солома	Мультициклон та електрофільтр	Мультициклон та електрофільтр	Burmeister & Wain Energy (Данія)*	180 (котел 50 МВт)	
		Пара	Автоматизоване, вологе							

* Детальна інформація наведена у Керівництві з відбору проектних технологій для житлово-комунального сектору України. Звіт в 3-х томах. ПРОЕКТ USAID «МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА РЕФОРМА В УКРАЇНІ» (МЕР). 2015 р.

СИСТЕМА СПАЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ РЕТОРТНОГО ПАЛЬНИКА

Короткий опис технології

Для котлів малої потужності до 100 кВт, зазвичай застосовують ретортні пальники. Потенційно ретортні установки можуть мати і більші потужності, проте у цьому разі потребує вирішення питання автоматичного видалення продуктів згорання, а також інших проблем. Однак котли з ретортними пальниками традиційної конструкції працюють з низькозолюними видами сировини, такими як дерев'яні гранули, тріска тощо. Водночас вологість паливної сировини може сягати 50%. Прикладом котла із ретортним пальником, пристосованим для спалювання соломи, може бути твердопаливний котел українського виробника – компанії «ЕНЕРГІЯ»¹².

Принципова схема

Технологія на основі ретортного пальника представляє собою чавунну або виготовлену з жароміцної сталі чашу, на поверхні якої відбувається горіння (рис. 1.2). Паливо подається знизу через центр реторти.



Рис. 1.2 – Загальний вигляд технології спалювання з ретортним пальником

Реалізовано двоступеневе згорання палива: безпосередньо під зону горіння підводиться первинне повітря, яке продуває шар палаючого

палива і не дозволяє поверхні реторти надмірно нагріватися. Вторинне повітря забезпечує згорання летких горючих речовин, які виділилися з твердого палива, в просторі над верхнім краєм ретортного пальника. Таким чином згорання палива розтягнуте в просторі топкової камери, що запобігає утворенню високих температур димових газів та конструктивних деформацій елементів топкової камери.

Ретортний пальник для спалювання соломи, порівняно з пальником для спалювання деревини або вугілля, додатково оснащений рухомим циліндром, який вставлено в середину чаші. По периметру верхнього та нижнього країв циліндру розташовані зубці. Циліндр механічно поєднаний із шнеком подачі палива, який штовхає зубці циліндру в дотичному напрямку та обертає циліндр навколо його вісі. Верхній край цього циліндру з зубцями, обертаючись, руйнує шар золи на шматки розміром не більше 50 мм та товщиною до 10 мм. Ці шматки золи скидаються донизу в накопичувач золи з верхньої поверхні ретортного пальника наступною порцією свіжого палива. Застосування такої технології обмежено тепловою потужністю котла до 100 кВт внаслідок утворення значної товщини шару золи, яка спікається, що унеможливує руйнування цього шару золи зазначеним способом. Принципова схема біопаливного котла «Енергія» з ретортним пальником для спалювання соломи та технічні характеристики вказані на сайті виробника.

Режим експлуатації такого котла передбачає ручне завантаження палива в витратний паливний бункер та ручне видалення золи. Подача палива в котел здійснюється з паливного бункера в автоматичному режимі.

Добове споживання пелет із соломи котлом потужністю 95 кВт при номінальному навантаженні складає 675 кг. Заміщення природного газу при цьому складає 275 м³/добу або 46 тис. м³ за опалювальний сезон. Скорочення викидів парникових газів до 92 т CO₂ за опалювальний сезон. Площа опалювальних приміщень для котла 95 кВт складає 850 м².

Таблиця 1.5

Переваги і недоліки технології на основі ретортного пальника

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – порівняно низькі капітальні витрати; – простота конструкції; – можливість спалювання сировини з високою вологістю (до 50%); – скорочення викидів парникових газів; – широкий діапазон регулювання потужності пальника. 	<ul style="list-style-type: none"> – немеханізоване (ручне) завантаження палива (зберігання палива в мішках до 20 кг); – немеханізоване (ручне) видалення золи; – низька екологічність (відсутнє обладнання для очистки димових газів); – обмеження у потужності (не використовуються у котлах великої потужності).

¹² www.e-solar.com.ua

В Україні котли такої технології виробляє ВАТ «Енергія» та інші виробники.

СИСТЕМА СПАЛЮВАННЯ НА КОЛОСНИКОВИХ РЕШІТКАХ

Короткий опис технології

Спалювання на пластинчатих колосникових решітках застосовується для котлів більшої потужності (від 150 кВт до 15 МВт). Конструктивно колосники можуть бути рухомими або нерухомими. В пальниках з рухомими колосниками ефективно згорає паливо з великою зольністю і вологістю (дерев'яна тріска, а також дерев'яні та солом'яні пелети). Пальники з нерухомими колосниками призначені для високоякісного палива (якісні пелети з деревини твердих порід).

- 1 – котел; 2 – мультициклон;
- 3 – витратний бункер палива;
- 4 – золовий контейнер;
- 5 – димосос; 6 – димова труба;
- 7 – паливний склад (бункер типу «силос»);
- 8 – димогарний трубчатий теплообмінник;
- 9 – колосникова решітка;
- 10 – шнек видалення золи з топки;
- 11 – вентилятор первинного повітря;
- 12 – вентилятор вторинного повітря;
- 13 – вентилятор рециркуляції димових газів;
- 14 - шнек подачі палива з бункеру;
- 15 – шлюз - дозатор палива;
- 16 – шнек подачі палива в топку котла;
- 17 – гідростанція з циліндричним поршнем;
- 18 – шнек видалення золи з мультициклону;
- 19 – насос рециркуляції теплоносія;
- 20 – насос подачі теплоносія до тепломережі.

Рис. 1.3 – Технологічна (а) та принципова (б) схеми водогрійного котла для спалювання солом'яних гранул

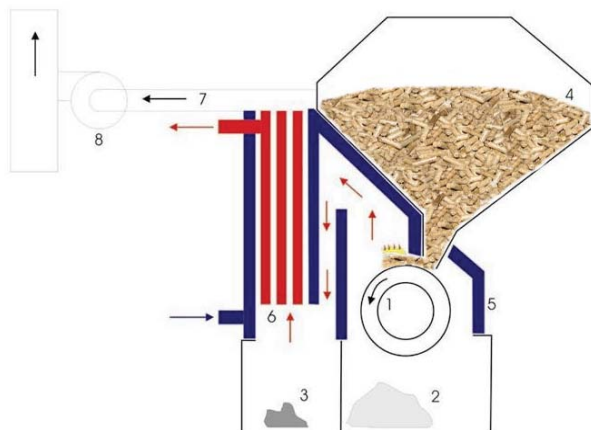
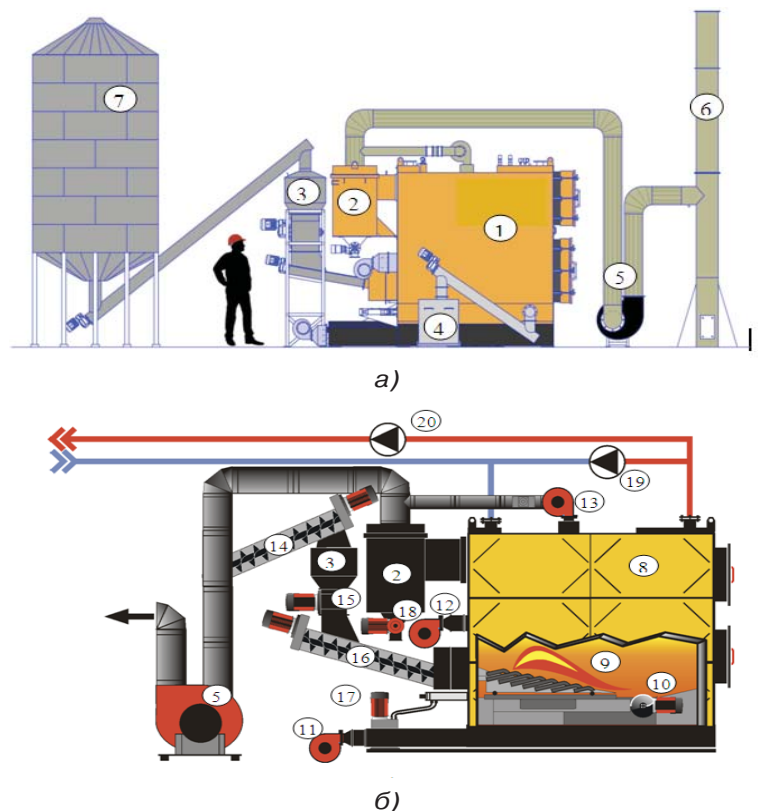


Рис. 1.4 - Принципова схема котла з рухомих барабаном

Принципова схема

Технологія полягає у подачі палива безпосередньо на колосники. Шнековим транспортером або плунжером паливо подається в спеціальний жолоб, звідки під власною вагою зсипається на колосники. До витратного бункера паливо подається з паливного бункера (складу палива) також за допомогою шнекового або стрічкового транспортеру. Згорання палива відбувається на рухомих колосникових решітках, елементи яких здійснюють зворотно-поступальний рух та пересувають паливо уздовж камери згорання. В Україні котли такої технології виробляє ППФ «Ретра», Енергохолдинг «Кригер», ПАТ «Укрелектроапарат» та інші виробники.

На рис. 1.3 наведені технологічна (а) та принципова (б) схеми водогрійного котла для спалювання солом'яних гранул.

Одним з ефективних різновидів рухомої колосникової решітки є рухомий барабан (циліндр) (рис. 1.4), обертовий рух якого здійснюється навколо центральної вісі, а згорання палива відбувається на верхній зовнішній поверхні. Паливо з витратного бункера потрапляє на верхню зовнішню частину рухомого барабану і розподіляється тонким рівномірним шаром по всій площі горизонтальної частини поверхні барабану. Згорання палива відбувається протягом часу його знаходження на барабані. Спалювання на рухомих колосникових барабанах, як правило, використовують у котлах середньої потужності 100–300 кВт. Спалювання палива на рухомих

му барабані вимагає виготовлення барабану із жароміцного матеріалу, розрахунку діаметру барабану, виходячи із потрібної потужності котла та виду палива, а також синхронізацію обертання барабану із згорання палива. Прикладом такого типу котла може бути опалювальний твердопаливний котел «CARBOROBOT»¹³ угорського виробництва.

Швидкість обертання барабану та шар палива на ньому встановлюються в залежності від

виду палива та його характеристик таким чином, щоб відбулося повне його згорання. Зола, завдяки обертанню барабана, зсипається в нижню частину паливної камери, де охолоджується природнім шляхом. Накопичена зола періодично видаляється ручним або механічним способом. Більш детальна інформація стосовно конструкції та технічних характеристик біопаливних котлів «CARBOROBOT» наведена на сайті виробника.

Таблиця 1.12

Переваги і недоліки системи спалювання на колосникових решітках

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – можливість роботи з паливом з низьким енергетичним потенціалом, високою зольністю, високим вмістом сірки, високою вологістю, низькою температурою спікання, як наприклад соломи зернових культур) тощо; – висока стабільність процесу спалювання змішаних видів палива; – можливо використовувати різні види палива; – скорочення викидів парникових газів; – широкий діапазон регулювання потужності; – надійна конструкція. 	<ul style="list-style-type: none"> – високі капітальні витрати у порівнянні з традиційними котлами, що працюють на газі, вугіллі, деревині; – велика вага (виготовляються з чавуну); – необхідність використання додаткових механізмів для здійснення руху чи вібрації; – низька екологічність з огляду на спалювання низькоякісної сировини; – непридатність для спалювання дрібнозернистої (до 5 мм) сировини.

Для спалювання соломи з колосниковою решіткою виробляються також парові котли великої потужності до 20 МВт, зокрема американською компанією HURST¹⁴, та котли з віброуючою решіткою тепловою потужністю від 50 МВт до 132 МВт, які виробляються європейською компанією Burmeister & Wain Energy A/S (BWE)¹⁵.

Парові котли HURST є багатопаливними, спалюють такі види біопалива та їх суміші: подрібнена солома, деревна тріска, гранули, кінський гній, курячий послід, лушпиння насіння та сої). Котли Hurst встановлені та експлуатуються на промислових підприємствах та міні- ТЕЦ в Київській, Кіровоградській, Львівській та Вінницькій областях України.

Котельня установка складається з парового котла Hurst та системи підготовки та подачі біопалива, яка може приймати соломяні тюки, подрібнювати їх, доставляти подрібнену солому до котла і спалювати підготовлену солому.

Паровий котел Hurst (паропродуктивність 10 т/год пари при параметрах пари P = 13 бар, t = 198°C) має ККД 87,5% при вологості палива 55% і ККД 92% при вологості 30%.

Біопаливо подається стрічковим транспортером прямо в систему шнекового транспортера, який подає паливо безпосередньо в топку котла. Біопаливо запалюється в три стадії, що забезпечує повноцінні цикли сушіння, газифікації та спалювання вуглецевого залишку.

Рухома ступінчаста решітка (рис. 1.5) котлів компанії Hurst зроблена таким чином, що вона може підбирати різні види біопалива з вмістом води до 55%. Топка з рухомою решіткою гарантує спалювання твердого палива з механічною заміною паливних елементів при мінімальному русі. Новаторська само охолоджувана і самоочищувана конструкція в комбінації з системою автоматичного очищення від попелу мінімізують втручання оператора.



Рис. 1.5 – Колосникова решітка парового котла компанії Hurst

¹³ www.carborobot.hu

¹⁴ http://www.hurstboiler.com/

¹⁵ http://www.bwe.dk/en/home/home.htm

Димові гази виходять як через секцію водотрубної системи, так і через димогарні труби секції, де виробляється пар. У комплект поставки входить котел з тяго-дутьовими приладами, системою очищення димових газів

(мультициклони), економайзер, пароперегрівач, системою автоматики з програмним управлінням (рис. 1.6). Техніко-економічні показники впровадження котла Hurst паропродуктивністю 10 т/год наведені в таблиці 1.6.

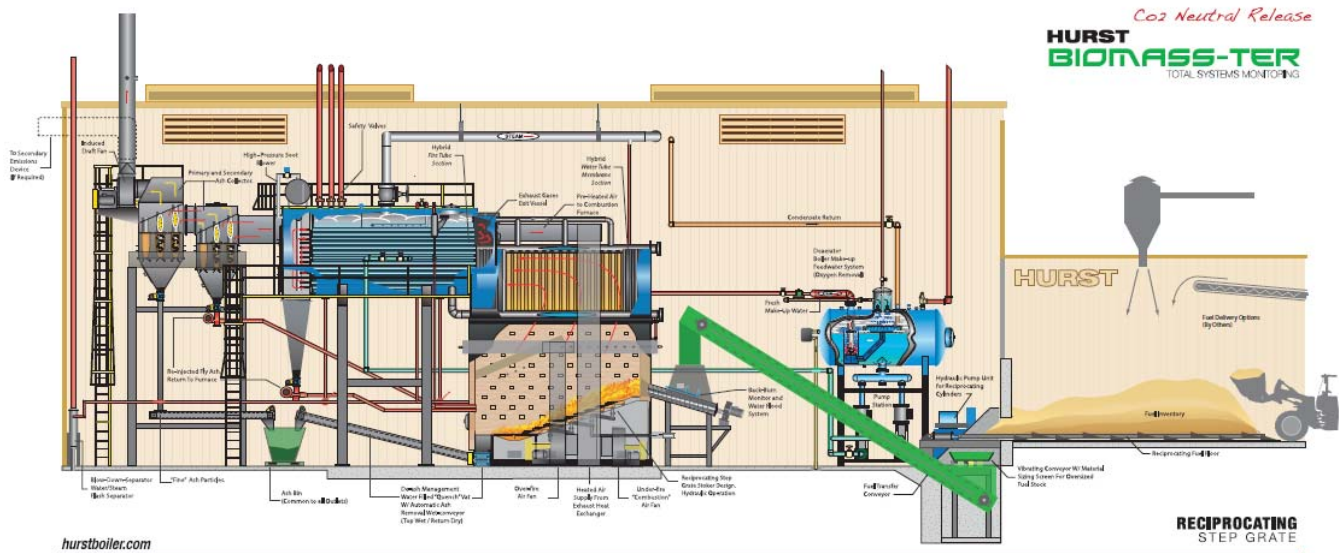


Рис. 1.6 – Комплект котельного обладнання Hurst

Таблиця 1.6

Техніко-економічні показники впровадження котла Hurst

№ п/п	Назва обладнання та робіт	Вартість, \$
Обладнання		
1	Паровий котел Hurst в комплекті з опціями і автоматикою, 1 од.	1 283 000
2	Доставка котла Hurst 1000 ВНР/250, 1 од.	120 000
3	Подрібнювач тюків	90 000
4	Доставка подрібнювача	15 000
5	Рухома підлога (1 од.) і транспортери	120 000
6	Усього обладнання	1 628 000
Проектно-монтажні роботи		
1	Проектні роботи	180 000
2	Монтаж і налагодження тепломеханічної частини	180 000
3	Монтаж і налагодження електротехнічної частини	50 000
4	Всього за роботи	410 000
Непередбачені витрати 10%		210 000
ВСЬОГО		2 248 000

Загальний підрахунок (базова комплектація) припускає 0% ставку ПДВ і митних зборів при ввезенні енергозберігаючого обладнання в Україну. Вихідні дані для розрахунку економічних показників проекту з впровадження біопаливного котла Hurst наведені в таблиці 1.7.

Споживання біопалива при роботі на повну потужність котла за 345 днів складає 19110 т. Витрати на тюковану соломку за ціною 500 грн./т, становлять 19110x500 = 9555000 грн. (415 тис. \$). Додаткові витрати на власні потреби 200 тис. \$.

Витрати на природний газ (при ціні 8,9 грн./м³) за 345 днів при роботі газового котла на номінальній потужності (витрата природного газу 75 м³ на 1 т пари на годину) при виробництві 10 т/год пари складуть 10x345x24x75x8,9 = 55269000 грн./рік. (2403 тис. \$/рік). Кількість добрив 1147 т. Типовий склад добрива з золи: К₂O 10-12%, фосфор P₂O₅ 4-6% і CaO 30-40%. Мінімальна ціна таких добрив 1500 грн./т. Дохід від реалізації добрив 1147x1500 = 1720500 грн. (75 тис. \$).

Таблиця 1.7

Економічні показники проекту з впровадження біопаливного котла Hurst

Початок фінансового року з інвестування	0 рік	1 рік	2 рік
Економія на заміні виду палива, \$ тис.		2 403	2 403
Дохід від продажу електрики, \$ тис.		-	-
Дохід від продажу добрив, \$ тис.		75	75
Дохід від продажу гарячої води, \$ тис.		-	-
Компенсація за Кіотським протоколом, \$ тис.		-	-
Валовий дохід, \$ тис.		2 478	2 478
Витрати на паливо і власні потреби, \$ тис.		615	615
ПДВ		-	-
ПДПНІД, \$ тис.		1 863	1 863
Маржа, %		-	-
Податок на прибуток		-	-
Чистий прибуток, \$ тис.		1 863	1 863
Маржа, %		75,2	75,2
Необхідні інвестиції, \$ тис.	2 248		
Вільний обіг грошей	2 248	1 863	1 863
Простий термін окупності проекту, років	1,2**		

* Обмінний курс: 23 грн /USD.

** у випадку, коли основним споживачем котельні є населення, термін окупності може зростати до 5 - 9 років.

Таблиця 1.8

Основні технічні показники біопаливної когенераційної електростанції Emlichheim

Показник	Значення
Потужність електрична	12 500 кВт
Потужність теплова	49 800 кВт
Параметри пари:	
– паропроductивність	18.6 кг/с (67 т/год)
– температура	522 °C
– тиск	112 бар
Температура живильної води	180...200 °C
Ефективність парового котла	92%
Площа котельної комірки	25,2 м x 43,2 м
Висота котельного цеху	28 м
Постачальник котла	Burmeister & Wain Energy A/S (BWE)
Паливо:	солом'яні тюки
Кількість годин роботи на повному навантаженні	6 150 год/рік
Необхідна кількість палива	~ 75 000 т/рік (тільки солома)
Зола та попіл (добрива)	~ 3 750 т/рік
Споживання первинної енергії палива	~ 305 000 МВт·год/рік
Постачання технологічної пари	~ 120 000 МВт·год/рік
Постачання тепла для опалення	~ 95 000 МВт·год/рік
Постачання електрики споживачам (нетто)	~ 56 000 МВт·год/рік
Власне споживання електрики	~ 20 000 МВт·год/рік
Автоматизоване функціонування	безперервно
Скорочення викидів парникових газів	~ 90 000 т CO ₂ екв/рік
Рік введення в експлуатацію	2012 р.

BWE розробила систему спалювання соломи та адаптувала її під різні типи квадратних тюків. З огляду на те, що в вітчизняній технічній літературі майже відсутня інформація про потужні парові котли для спалювання соломи в цьому Керівництві наведено більш розширений огляд особливостей технології, конструкції та технічні характеристики біопаливних котлів провідної данської компанії Burmeister & Wain Energy A/S (BWE). Прикладом впровадження сучасної технології спалювання солом'яних тюків в біопаливних

парових котлах великої потужності є когенераційна електростанція Emlichheim (Німеччина) з двома лініями подачі палива, яку виконала компанія BWE. Основне паливо є подрібнена солома, але система спалювання може додатково використовуватись зі спеціальним обладнанням для обробки допоміжних палив, таких як деревинна тріска або аналогічних видів палива з вологістю до 50%. Досвід BWE базується на успішному досвіді експлуатації котельних установок в Данії, Великобританії, Іспанії, Китаї та Німеччині (рис. 1.7).



Rudkøbing Kraftvarmeværk

Рік введення в експлуатацію	1990
Паропроductивність	13,0 т/год
Тиск/температура пари	60 бар/450°C
Витрата соломи	12 500 т/рік



Masnedøværket

Рік введення в експлуатацію	1995
Паропроductивність	42,0 т/год
Тиск/температура пари	92 бар/522°C
Витрата соломи	60 000 т/рік



Maribo-Sakskøbing

Рік введення в експлуатацію	2000
Паропроductивність	43,2 т/год
Тиск/температура пари	92 бар/542°C
Витрата соломи	40 000 т/рік



Elean Power Plant

Рік введення в експлуатацію	2000
Паропроductивність	137,0 т/год
Тиск/температура пари	92 бар/522°C
Витрата соломи	200 000 т/рік



Sanguesa Power Plant

Рік введення в експлуатацію	2002
Паропроductивність	103,5 т/год
Тиск/температура пари	92 бар/542°C
Витрата соломи	160 000 т/рік



Emlichheim

Рік введення в експлуатацію	2012
Паропроductивність	67,0 т/год
Тиск/температура пари	110 бар/522°C
Витрата соломи	75 000 т/рік

Рис. 1.7 – Електростанції з котельними установками BWE для спалювання соломи

Компанія BWE відповідає за конструкцію котла та котельні електростанції Emlichheim (рис. 1.8), поставку системи спалювання і загальний нагляд за

виготовленням, монтажем та наладкою електростанції. Кошторис всього проекту електростанції Emlichheim складав 56,0 мільйонів Євро.



Рис. 1.8 – Електростанція Emlichheim для спалювання соломи (модель)

Основні технічні показники котла BWE

Тип котла – з природною циркуляцією. Він має три проходи та дві опори, що з’єднують його з економайзером та охолоджувачем димових газів. В топці перед тканинним фільтром, який слугує матеріалом для очищення газів від летючої золи, здійснюється впорскування $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Також можливе вдування активованого вугілля задля зменшення шкідливих викидів хімічних речовин.

Крім вироблення електроенергії, електростанція також постачає технологічну пару до сусіднього заводу розташованого поруч та

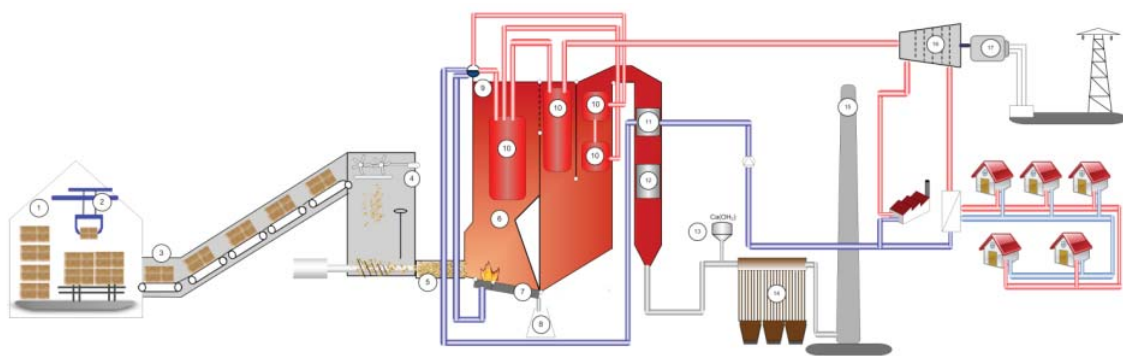
тепло для домогосподарчого використання у прилеглий місцевості.

Також вагомою складовою системи теплопостачання є накопичувальний резервуар ємністю 4000 м³, який призначений для регулювання коливань теплопостачання або теплоспоживання.

Загальний вигляд котельного агрегату BWE наведено на рис. 1.9. Принципова технологічна схема теплоелектростанції на соломі з біопаливними котлами BWE наведена на рис. 1.10.



Рис. 1.9 – Загальний вигляд котельного агрегату BWE (модель)



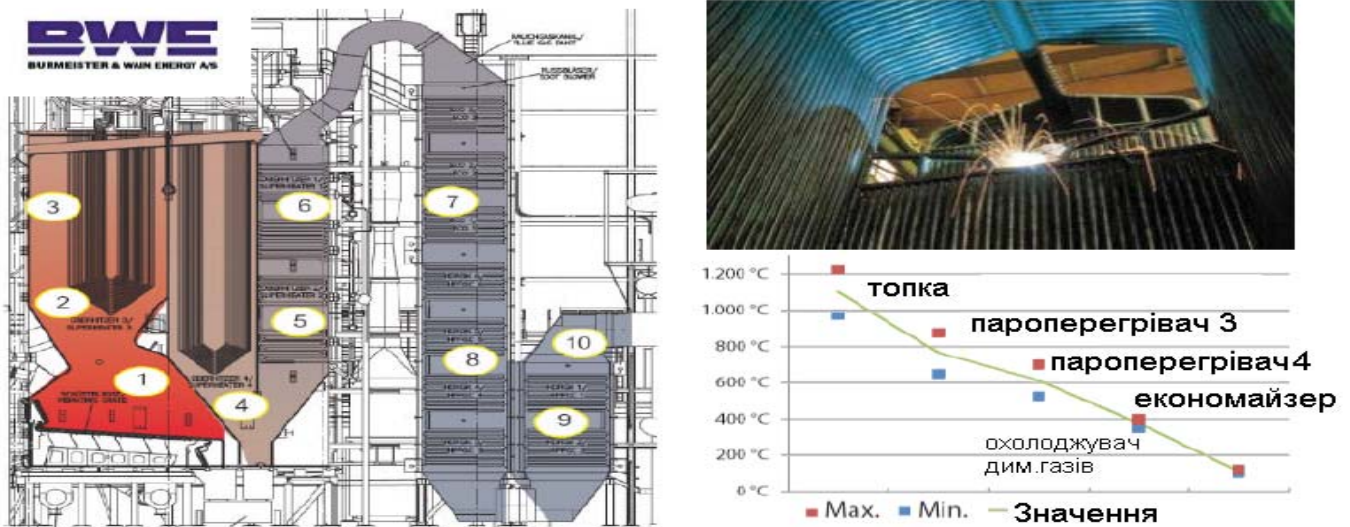
Процес вироблення теплової енергії та пари з соломи. (Ілюстрація належить BEKW)

Постачання соломи	Генерація пари		Електрика, пара та тепло
1. Склад соломи	6. Котел	11. Повітряпідігрівач	15. Турбіна
2. Підйомний кран	7. Вібруюча решітка	12. Впорскування $\text{Ca}(\text{OH})_2$	16. Генератор
3. Конвеєр	8. Видалення золи	13. Тканинні фільтри	
4. Подрібнювач соломи	9. Пароперегрівач	14. Димова труба	
5. Подавальний шнек	10. Економайзер		

Рис. 1.10 – Принципова схема теплоелектростанції з біопаливними котлами BWE на соломі

Основні технічні показники біопаливної когенераційної електростанції Emlichheim з котельними агрегатами BWE наведені в таблиці 1.8:

Основні конструктивні елементи та температурні показники димових газів котла BWE електростанції Emlichheim наведені на рис. 1.11.



- Водоохолоджувана вібраційна решітка
- Водоохолоджувана стінка котла
- Пароперегрівач (частина 3)
- Пароперегрівач (частина 4)
- Пароперегрівач (частина 2)

- 6. Пароперегрівач (частина 1)
- 7. Економайзер (1 з 3 частин)
- 8. Охолоджувач димових газів (3 + 4)
- 8. Охолоджувач димових газів (1 + 2)
- 10. Вихід димових газів

Рис. 1.11 – Основні конструктивні елементи котла BWE

Основні екологічні показники електростанції Emlichheim у порівнянні з іншими електростанціями наведені в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9

Основні екологічні показники електростанції Emlichheim у порівнянні з іншими електростанціями

Викиди	одиниця виміру	Masnedo (Данія)	Maribo (Данія)	Німеччина (вимоги)	Emlichheim (за проектом)
CO	об./вагов.	0,05 об. % (при 10% O ₂)	0,05 об. % (при 10% O ₂)	250 мг/нм ³ (при 11% O ₂)	< 150 мг/нм ³ (при 6,5% O ₂)
Тверді частки	мг/нм ³	40	40	20	< 2,5
NO _x	мг/нм ³	200	400	400	< 150
SO ₂	мг/нм ³	н/д	н/д	350	< 60

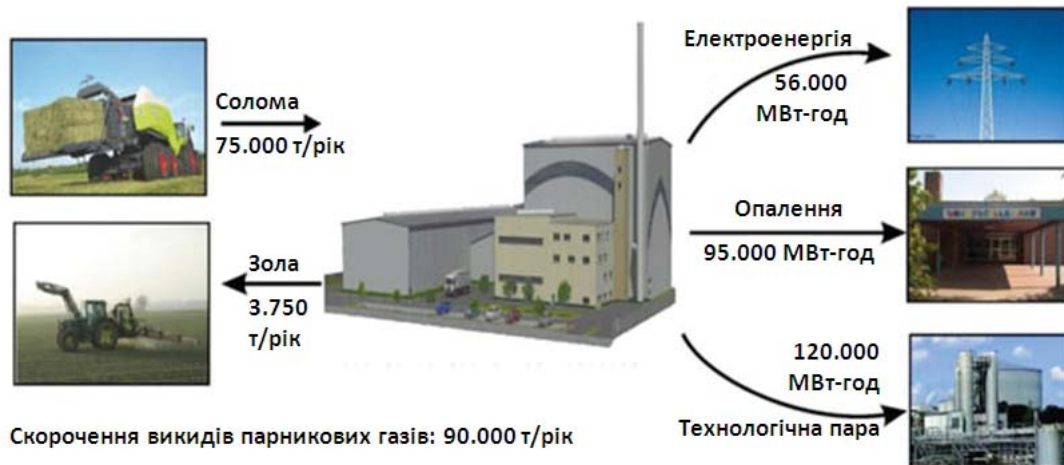


Рис. 1.12 – Основні масові та енергетичні баланси біопаливної електростанції Emlichheim

Характеристики палива та золо-шлакові характеристики

Солома в якості палива досить сильно відрізняється від викопного палива та деревини. Головними складовими соломи є лужний метал (K + Na) та хлорид (Cl). Використання цих хімічних речовин є складним через їх корозійну активність і вплив на шлакові характеристики. Температура розм'якшення золи соломи дуже низька (приблизно 750 °C). З цієї причини, шлаки будуть формуватися і накопичуватися у великій мірі на стінках топки і в кінцевих (вихідних) дільницях пароперегрівачів.

Більшість солом'яної золи залишається на вібруючій решітці у вигляді шлаку і видаляється через систему видалення шлаку. Проте, значна частина досягає до кінцевих ділянок пароперегрівачів, де вона (значна частина шлаку)

охладжується і, як наслідок, накопичуються на трубних елементах пароперегрівача.

Так як солом'яні тюки знаходяться на відкритому просторі з моменту збору врожаю до збирання тюків, погода має неабиякий вплив на консистенцію соломи. У деяких ситуаціях це призводить до зволоження соломи і, коли вологість сягає більше 25% виникають різні проблеми в обробці і спалюванні соломи, це визначає верхню допустиму межу вологості. Фермер повинен, по можливості, пересувати тюки в місце з оптимальними умовами для зберігання. Щоб мотивувати його зробити це, як правило, оплата повинна бути на основі вологості – чим нижча вологість, тим вища оплата.

Основні характеристики соломи наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10

Основні характеристики соломи

Показник	Одиниця вимірювання	Значення	
		Жовта (фактично суха)	Сіра (після 50-150 мм опадів)
Тип соломи			
Характерна щільність тюка	кг/м ³	200	
Характерний розмір тюка	м	1,2 x 1,2 x 2,5	
Номінальна вологість	%	10...20	
Максимальна вологість	%	25	
Типова теплотворна здатність	МДж/кг	15 (при вологості 15%)	
Зольність	%	4	3
Вміст хлору	%	0,6	0,2
Лужність золи	%	30	10...20
Температура розм'якшення золи	°C	750	1000
Ціновий рівень	Євро/ГДж	4,5	4,5

Принцип роботи

Повна система постачання тюків базується на обладнанні BWE, починаючи зі складу соломи. Всі конвеєри оснащені потужними конвеєрними ланцюгами та шипами для захвату. Різні конвеєри мають спеціальні функції.

На майданчику для зберігання соломи є 2 9-ти метрові конвеєри для отримання тюків з кранової системи. Тюки розташовані блоками 3x2 в два ряди. Це нагадує існуючий процес складання при постачанні вантажівок, які в розмірі по 24 тюки і розташовуються 3x2 на передніх і задніх рамах та в два шари.

Знизу, якщо рухатись за напрямком від приймального конвеєру, знаходяться два аналогічні 9-тиметрові конвеєра, які називаються «буфер-одиниці». Вони поступово поставляють тюки вниз до транспортного конвеєру. Піс-

ля того, як останні два тюка буде доставлено, відбувається повне заповнення блоку прийому 12-ма тюками.

Транспортний конвеєр отримує два тюки, розташовані близько один до одного. Після отримання двох тюків, виконується операція їх розділення (на відстань 100мм один від одного). Таким чином тюки більше не стикаються один з одним. Потім, після розділення, тюки відправляються конвеєром в чергу тюків. Конвеєр виставляє перший тюк в лінію. Після конвеєр переміщує другий тюк на іншу лінію, щоб завершити цикл.

Стіл для зважування має 4 тензодатчики і може визначити масу тюків з похибкою до 5 кг. У той же час, система мікрохвильових датчиків вологості визначає вологість в тюку, а за допомогою системи фотосенсорів вимірюється

довжина тюка. За цією інформацією обчислюється обсяг хімічної енергії в тюку. Система може дослідити тюк та (в майбутньому) скорегувати дозування з урахуванням фактичного стану тюка і необхідного навантаження для котлоагрегату (рис. 1.13).



Рис. 1.13 – Технологічна лінія подачі солом'яних тюків на електростанції Emlichheim

Як засіб мінімізації «помилкових» (або надлишкових) надходжень повітря та для запобігання можливого поширення вогню в сховищах соломи, шлях до топки ізолюється двома ущільнюючими воротами. Вони керуються пневматично (не потребують додаткового відведення) та можуть зберігати нижню раму шлюзових воріт від пилу, каменів і т.д.

Новий тюк буде рухатися вперед з «нормальною» швидкістю конвеєра, щоб наздогнати попередній тюк, і в момент (коли він його наздожене) він, новий тюк, змінює швидкість на швидкість попереднього тюка.

Конвеєр регулювання швидкості оснащений регульованим приводом, щоб забезпечувати необхідне живлення, яке розраховується на підставі характеристик тюків. Конвеєр регулювання швидкості має довжину більшу довжини двох тюків. У напрямку його руху, задній тюк підтримує передній тюк із силою, яка сприяє процесу розкривання тюків. Задній тюк, в той же час, штовхають вниз до конвеєрних ланцюгів з пневматичною системою підтримки спрямованих донизу візків, що забезпечує надійне зачеплення шипами з ланцюгом (тому ризик прослизання для слабких тюків також знижується).

Перед тим, як тюк приходить до розкривача тюків різак ріже пакувальні стрічки, які скріплюють тюк до купи. Різак пакувальних стрічок має алюмінієву легку конструкцію, задля полегшення проведення беззупинкової заміни (один раз на тиждень або близько того). В якості ножів в різаку використовуються звичайні стандартні ножі для комбайнів з заклепками. Розкривач тюків є надпотужним пристроєм та

складається з двох дисків обертання, які схожі з колесами, які «відшкрябають» шари соломи з тюків в лоток з соломою (рис. 1.14).



Рис. 1.14 – Розкривач солом'яних тюків на електростанції Emlichheim

Лоток з соломою забезпечений шлюзовою заслінкою (або шибером), яка може швидко закриватися при необхідності і у відповідності до регламентних вимог. В закритому положенні це забезпечить герметизацію проти «помилкового» (надлишкового) потрапляння повітря, а також забезпечить захист проти зворотного вогню.

Вільна, невпорядкована солома, яка падає в лоток, надходить до подвійного шнеку. Він має 2 частини: конічну та повздовжню, які обертаються в протилежному одній до другої напрямках. За допомогою цих шнеків солома по каналам транспортується вперед та спресовується.

Для запобігання зворотного вогню або витікання гарячих газів в зворотному напрямку заслінки з водяним охолодженням відокремлюють шнек і канал, що веде до топки. Ці заслінки закриваються, коли спалювання припиняється, і можливий нагрів шибера обмежено до 100 °C (так як охолоджена вода не знаходиться під тиском).

З колосникового шнеку і до випускного отвору водоохолодженого колосникового каналу транспортується частково стиснена солома, яка утворює пробку. Ця пробка підтримується злегка конічної форми з водяним охолодженням колосникового каналу. Канал спроектований відповідно з вимогами PED (Директива 97/23 / EC) з проектним тиском в 10 бар. Робоча температура пристрою знаходиться на рівні 50 °C – 80 °C Пристрій також має систему важких, литих пристроїв стиснення, які рухаються пневматикою, щоб гарантувати, що солома стискається до такого ступеня, який є достатнім задля запобігання повернення назад вогню. Поверхня передньої стінки котла

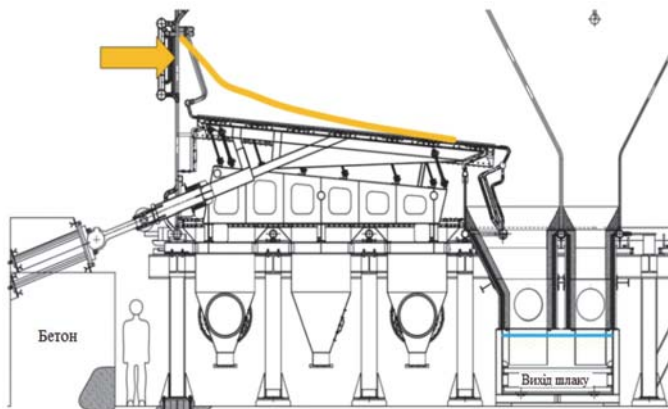
має шар ізоляції, який є стійким до агресивної дії шлаку, і зовні додатково ущільнена температурним компенсатором.

Вібраційні решітки з водяним охолодженням потребують дуже низьких витрат на технічне обслуговування, при цьому забезпечують високу надійність і надзвичайно низьке енергоспоживання, що обумовлено часом роботи вібраційного приводу – тільки 1-2% від часу з помірно встановленою потужністю 22 кВт для приводу електродвигуна.

Конструкція котла BWE електростанції Emlichheim передбачає котел з природною циркуляцією, а отже, пріоритетним рішенням є використання решітки, як частини системи випарника, що є дуже зручним, а також забезпечує безпроблемний пуск котлоагрегату.

Основні характеристики вібраційної решітки з водяним охолодженням для котла BWE електростанції Emlichheim (та її головні поверхні поділу, згідно послідовності, або за списком):

- Один (зазвичай) газохід постачання з первинного повітря, що регулюється;
- Дві ділянки решітки зі збалансованим функціонуванням;
- Кожна секція має мембранну стінку з отворами в ребрах для первинного повітря;
- Гнучкі труби між решіткою і місцями під'єднання котла – для поглинання динамічних рухів;
- Гнучкі з'єднання, забезпечують газощільність для повітря між решіткою, котлом та його елементами;
- Захисні жорсткі пластини виконані для ущільнення уздовж решітки задля попередження витікання повітря;
- Тривкі матеріали і ущільнення для повітря між двома секціями решітки.



а)



б)

Рис. 1.15 – Вібраційна решітка котла BWE (а – схема, б – загальний вигляд)

Солома безперервно подається на решітку за допомогою (за рухом) системи, описаної попередньо. Решітка нахилена під малим кутом. Це дозволяє їй бути частиною системи випарника без ризику парової стагнації (порушення циркуляції), і, як наслідок, без перегріву мембрани. Вібрація працює з перервами від двох до п'яти хвилин. Вібрація забезпечує змішування свіжого і вже запаленого палива. Крім того, вібрація сприяє перенесенню донизу решітки із зони прийому / нагріву / сушки соломи в області, де відбувається основний процес згоряння; і далі донизу в зону, де згорає коксовий залишок і, нарешті, в зону охолодження золи до падіння її в шлаковий бункер. Первинне повітря розподіляється через попередньо зроблені отвори у поверхні решітки – мембрані,

яка є частиною водо охолоджуваної решітки. Поверхня решітки розділена на дві протилежні рухливі мембранні секції, що підтримуються носіями колосникової решітки та пластинчати-ми пружинами, які допускають динамічний рух в послідовних вібрацій.

Решітка піддається впливу всіх традиційних обставин (умов), спричинених механічним навантаженням та зносом:

- Теплове розширення та навантаження;
- Динамічний рух і навантаження;
- Автоколивання (усувається конструкцією);
- Знос від абразивності золи та шлаку, а також палива;
- Газощільність для повітря;
- Локальний перегрів.

Для вирішення всіх цих проблем застосовуються багато спеціальних змін стандартних конструкцій, зокрема такі, як:

- гнучкі трубки мають частоту автоколивань приблизно в три рази вище, ніж частота вібрації решітки. Крім того, гнучкі труби розраховуються за правилами PED (Директива 97/23 / EC) та пов'язаними з ними вимогами;
- труби в мембрані мають додаткову товщину стінки, для запобігання передчасного зносу;

- у нижньому кінці решітки з боку тиску, труби додатково посилені, щоб витримати важку ерозію від шлаку і золи;
- у проміжних лініях між рухомими секціями решітки спеціально встановлені ущільнення від просипу (рис. 1.16). Це частини, які зношуються і мають термін служби два роки;
- також подається периферійне повітря через захисні пластини і елементи розширення.

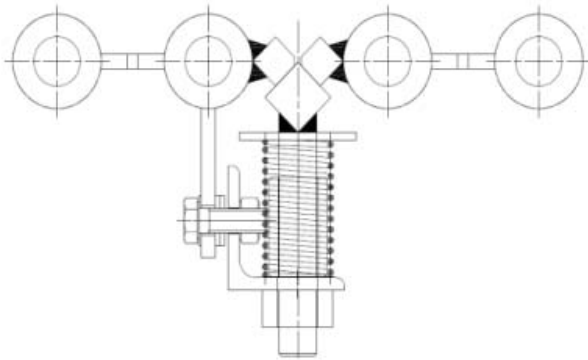


Рис. 1.16 – Пристрій для запобігання просипу на вібраційній решітці котла BWE

Таблиця 1.11

Технічні показники вібраційної решітки з водяним охолодженням котла BWE електростанції Emlichheim:

Показник	Значення
Кількість модулів вібраційної решітки	2 од.
Вага кожного модуля	5000 кг.
Ширина та довжина	5600 мм на 6000 мм.
Поверхня решітки	випарник мембрани.
Бетонна основа для приводу	100 т.
Отвори в мембранних плавниках	11000 од.
Вібрація приводу топки	10 мм.
Частота роботи	7,5 Гц з перетворювачем частоти
Послідовність роботи	3 с/180 с (зазвичай).
Кут руху	20 °С.
Кут нахилу поверхні решітки	5°.

Вібраційний привід встановлено на масивному бетонному фундаменті (Рис. 1.17). Конструкція приводу передбачає в собі функції для теплового розширення фланців на решітку (рис. 1.18). Частота роботи регулюється в межах певного діапазону, який залежить від змінної швидкості приводу за допомогою перетворювача частоти. Вертикальне прискорення на поверхні решітки складає приблизно 10-11 м/с, що є необхідним для транспортування палива по поверхні решітки. Необхідна частота вібрації пов'язана із загальною геометрією

решітки. Маса секцій решітки, які переміщуються вперед та назад, складає приблизно 4 тонни відповідно до обраного типу конструкції, тому привід повинен бути потужним та конструктивно міцним. Для того, щоб отримати прийнятні низькі навантаження на підшипники, привід оснащено маховиком, який вирівнює кутову швидкість колінчастого вала, накопичуючи кінетичну енергію секцій решітки, які переміщуються назад і вперед лінійно, що є типовим для потужного механізму з низькими оборотами.

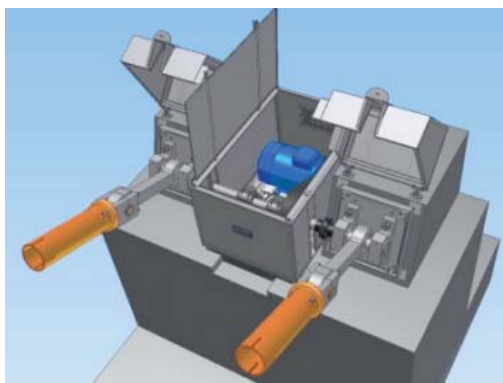


Рис. 1.17 – Конструкція вібраційного приводу колосникової решітки котла BWE



Рис. 1.18 – Вигляд вібраційного модуля приводу колосникової решітки котла BWE

Масивний бетонний фундамент є невід’ємною конструктивною частиною решітки BWE. Конструкція бетонної основи приводного пристрою і його підключення до фланця решітки здійснюється таким чином, щоб встановлення приводного агрегату могло відбуватись на останніх етапах в послідовності монтажу та забезпечує можливість для необхідних вирівнювань і коригування. Привід складається з блоку одного двигуна, двох стрижневих модулів, суміжних валів, муфт, щитів-екранів і т.д. Конструкція котла призначена для спалювання соломи. Великі амбразури в топці для повітряних сопел і прискорення горючих газів є дуже важливими характеристиками. Котел спирається на бічні нижні колектори з певним тертям і направляючим для термічного розширення. Тертя визначається наявністю аустенітної опорної пластини з сухим покриттям типу Molycote. Перехресні трубки, що з’єднують нижні колектори, мають CL – подібні направляючі, призначені як горизонтальні маятники. Для отримання оптимально низького коефіцієнта надлишкового повітря, а також забезпечення низьких викидів CO і NOx застосовано дуже ретельне регулювання повітря для спалювання, адже ця операція є дуже делікатною. Первинне повітря, яке вводиться через отвори в поверхні решітки, досягає рівня 30% від загальної кількості повітря. Інша частина повітря для спалювання подається через ряд форсунок у місці звужування топкової камери. Швидкість повітря, конструкція виступу звужування та розподіл і орієнтація сопел забезпечує якісне змішування повітря і горючих газів (легких горючих газів палива). Для оптимальної роботи, підтримання надлишку повітря близько $\lambda = 1,30$ надає у підсумку прекрасний результат (приймаючи до уваги паливні характеристики і процес згорання соломи, але, звичайно, не на тому ж рівні, як у сучасного, великого енергетичного котла на вугіллі) ($\lambda = 1.15-1.17$).

У зв’язку з небезпечною тенденцією утворення шлаків, два останніх пароперегрівача в топковій камері і в другому газоході мають бути підвищені або плоскими типу «плита» з великим кроком до 560 мм. Кінцеві пароперегрівачі виготовлені з аустенітної сталі, яка в значній мірі стійка до впливу корозійних сполук. Конструкція заснована на «збалансованому» шлакуванні, що означає – дотримання теплових балансів за наявності певного накопичення шлаку (рис. 1.19). Шлаки будуть нарощуватись до шару, де температура поверхні дорівнює температурі плавлення шлаку, і розплавлений шар буде просто стікати та капати зі шлаків, які накопичились та застигли на трубній поверхні пароперегрівача. Великий крок між трубами пароперегрівача забезпечує достатність вільного місця для проходження димових газів. Тепловий розрахунок котла виконано з урахуванням передачі теплоти для зашлакованих пароперегрівачів. В конвективних газоходах використовуються неоребрені поверхні нагріву.

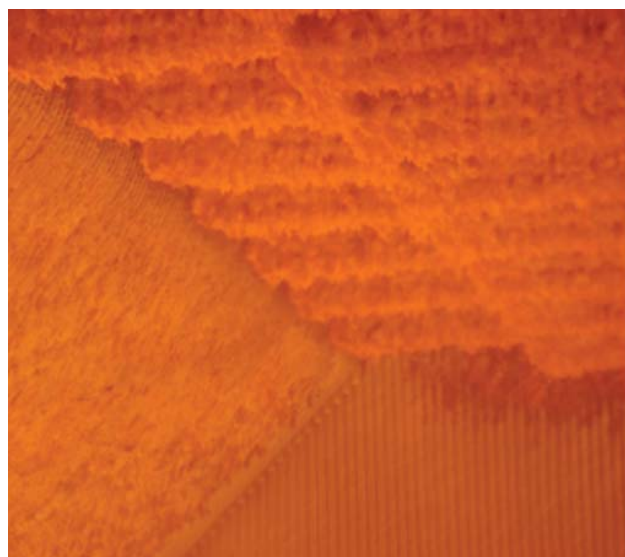


Рис. 1.19 – Робочий вигляд збалансованого шлакування котла BWE

У порівнянні з традиційними комунальними підприємствами, зазвичай, багато факторів є змінними. Це, в свою чергу, обумовлює дуже чутливий контроль параметрів перегрітої пари на виході котла. Теплота, що поглинається в топковій камері, сильно залежить від товщини шлакового шару і фактичного виділення теплоти в топковій камері. Для зменшення впливу шлакового шару, водяні очищувачі працюють за різними програмами, щоб контролювати поглинання теплоти в стінках топки. Одночасно, зміни в підводі теплоти через відмінності в постачанні соломі в топку і її теплотворності вимагають ефективних засобів для контролю. Ця проблема вирішується з використанням пароохолоджувача малої потужності після першої частини пароперегрівача, і пароохолоджувача великої потужності після другої та третьої частин пароперегрівача.

Надійний та тривалий термін служби елементів котла забезпечується чисельними конструктивними рішеннями. Зокрема, мембраною решітки, розробленою з металу підвищеної якості та додатковою товщиною стінок. Мембрана решітки спроектована з розрахунку очікуваного терміну служби (як і для всієї котельної установки). На нижній частині решітки, де абразивні зола та шлак потрапляють в шлаковий бункер, решітка захищена від зносу.

Водоохолоджуваний канал видалення золи розроблено з високоякісних котельних труб

з збільшеною товщиною стінок. У зв'язку з тим, що зношування інтенсивне, для продовження строку експлуатації необхідно кожні десять років виконувати заміни деяких ділянок з виявленими дефектами.

Кінцеві пароперегрівачі розроблені з котлової аустенитної нержавіючої сталі високого класу марки TP347H, що підтверджується досвідом більш ніж 17 років роботи на аналогічних котлах (особливо це актуально для третьої та четвертої частин пароперегрівача).

Багато факторів мають великий вплив при отриманні стабільного і добре контрольованого спалювання. Вібруючі решітки повинні ефективно розподіляти повітря – таким чином, що б витік повітря для горіння в кутах і вигинах був низькими. Потік повітря з повітряного коробу до поверхні решітки керується таким чином, щоб оптимально постачати потоки повітря в основні зони: сушіння, згорання (піролізу) та вигорання. Для спалювання на решітці, первинне повітря подається з повітряної коробки. Вторинне повітря введено в зону горіння через ряд сопел, рівномірно розподілених на передніх і задніх стінках. Сопла, орієнтовані таким чином, сприяють відповідній швидкості повітря, щоб закрутити горючі гази (вихрові пальники).

Більш детальна інформація стосовно конструкції та технічних характеристик біопаливних парових котлів компаній HURST та Burmeister & Wain Energy наведені на сайтах компаній виробників.

СИСТЕМИ ВДУВАННЯ ПИЛОВИДНОГО ПАЛИВА

Короткий опис технології

Котли, що використовують технологію вдування пиловидного палива часто мають потужність від 1 до 50 МВт. Разом з біологічним паливом вони можуть спалювати також пил різного типу вугілля та нафтового коксу.

Біологічним паливом може бути: пил з деревини; шрот з ріпаку; субстрат бродіння тощо. Проте солома має обмежені можливості для використання в таких технологіях з огляду на складнощі перетворення соломи у пил.

Також, оскільки спалювання відбувається за температури понад 1200 °С, це призводить до високих викидів NOx та інших екологічних негативних наслідків у вигляді шлакоутворення та проблеми відкладення вуглеводнів.

Принципова схема

Принцип роботи за цією технологією полягає у спалюванні подрібненого палива, що впор-

скується разом з повітрям в котел (рис. 1.20). Подрібнене до пилу паливо дає можливість ефективно його спалювати з мінімальними експлуатаційними потребами (різко скорочуються витрати повітря). Як правило, в технологіях вдування пиловидного палива вимагається зернистість твердого палива менше 1 мм, а у деяких випадків цей показник може бути ще меншим.

В Україні котли за такою технологією не виробляються. Проектів з використанням біомаси в якості сировини за такою технологією в Україні поки що не впроваджено.

Проте в ЄС основні виробники електроенергії широко використовують цю технологію (Electrabel, RWEpower, Drax Power, Dong energy, British Energy тощо¹⁶), додаючи біомасу до вугілля.

¹⁶ <http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-large-industrial-biomass-users.pdf>, page 37

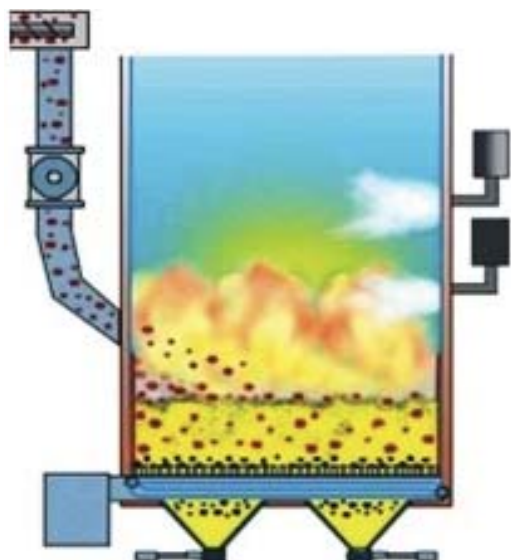


Рис. 1.20 – Загальний вигляд технології спалювання подрібненого палива

Таблиця 1.13

Переваги і недоліки вдування пиловидного палива

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – висока ефективність спалювання палива; – можливість компонування біологічної сировини з викопним паливом (вугіллям та нафтовим коксом); – висока стабільність процесу спалювання змішаних видів палива. 	<ul style="list-style-type: none"> – необхідність подрібнення палива; – обмеженість біопаливної сировини, що може спалюватися; – необхідність використання пальників спеціальної конструкції; – низька екологічність, високий рівень шуму.

СИСТЕМИ ЗІ СПАЛЮВАННЯМ У КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Короткий опис технології

Котли з киплячим шаром у світі експлуатуються вже майже 40 років, оскільки дають змогу спалювати навіть погану сировину (з різними домішками, як наприклад, пісок) та відходи. Киплячий шар зазвичай працює при температурах 750-950°C, що значно менші у порівнянні з іншими технологіями спалювання. Низька температура запобігає утворенню NO_x та дозволяє спалювати тверде паливо з високим рівнем золи. Такі системи також допомагають зменшувати викиди SO₂ від використання палива з високим вмістом сірки, наприклад, соломи за рахунок додавання сірчаних абсорбентів, таких як доломіт та вапняк в киплячий шар.

Існують два типи котлів з киплячим шаром – зі стаціонарним киплячим шаром та з циркулюючим киплячим шаром (рис. 1.21).

Циркулюючий киплячий шар дає можливість покращити ефективність спалювання практично будь-якої суміші палива за рахунок до-

даткової циркуляції матеріалу та високої турбулентності, що дозволяє досягати найкращих показників змішування палива та повітря, забезпечує ефективну передачу тепла до стінок котла. Також покращується екологічність котла з циркулюючим шаром.

Ключовою особливістю такої технології є використання циклонного сепаратора, що відокремлює частинки більшого розміру від потрапляння до вихідних газів і повертає їх назад у камеру згорання. Проте циркулюючий киплячий шар не рекомендується для використання дуже вологої сировини (58% проти 63% зі стаціонарним киплячим шаром) і вимагає дещо більших енергетичних витрат у порівнянні зі стаціонарним киплячим шаром.

Принципова схема

В таких котлах створюється киплячий шар, що представляє собою псевдорідинний шар, який створюється приведеним до завислого стану частинок твердої фази шляхом динамічного впливу на них висхідним потоком

повітря, коли частинки твердого матеріалу активно переміщуються одна відносно одної. В цьому стані шар нагадує киплячу рідину і його поведінка описується законами гідро-

статики. В киплячому шарі досягається щільний контакт між зернистим матеріалом та повітрям, що виступає в якості спалювального агента.

Таблиця 1.14

Переваги і недоліки спалювання у киплячому шарі

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – можливість роботи з паливом з низьким енергетичним потенціалом, високою зольністю, високим вмістом сірки, високою вологістю, низькою температурою спікання, як наприклад солома зернових культур) тощо; – висока стабільність процесу спалювання змішаних видів палива; – високі екологічні показники процесу спалювання. 	<ul style="list-style-type: none"> – складна конструкція теплогенератору; – значні капітальні витрати та довгий строк окупності; – потребує великої площі; – значні експлуатаційні витрати; – мінімальна гнучкість в питанні зміни потужності; – тривалі зупинки на ремонтні роботи тощо.

В Україні котли за такою технологією не виробляються, проектів з використанням біомаси в якості сировини за такою технологією в Україні поки що не впроваджено. В ЄС ця технологія використовується широко (Fortum, Zespół Elektrowni Dolna Odra, Bomhus Energi, GDF Suez, Kaukaan Voima, Alhomens Kraft тощо)¹⁷.

ВИСНОВКИ

Солома є найперспективнішим біологічним енергетичним ресурсом для України і відкриває широкі можливості для використання її у вигляді палива в ЖКГ України.

Існують технологічні обмеження для використання соломи в якості палива з огляду на її характеристики (високий вміст золи, низька температура спікання золи).

Вирізняють 4 принципових технології, що загалом можуть бути рекомендовані для комерційного спалювання твердого біопалива, у тому числі соломи. Для ЖКГ України найбільш перспективно впроваджувати котли середньої потужності, для яких може бути рекомендована технологія спалювання палива на рухомих колосникових решітках.



Рис. 1.21 Профіль котла з циркулюючим киплячим шаром

¹⁷ <http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-large-industrial-biomass-users.pdf>, pages 40,42.

1.3. Використання енергії сонця за допомогою сонячних колекторів

Енергія сонця є одним з найбільш доступних і перспективних відновлюваних джерел енергії. Зростання інтересу до використання саме цього виду енергії обумовлене кількома причинами: постійним зростанням цін на викопне паливо, зокрема на природний газ і нафту; актуальність питання охорони навколишнього середовища; безкоштовність сонячної енергії. За даними Держкомстату України у 2013 р.¹⁸ частка сонячної енергії в структурі виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії склала 3,6%. За Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 р. частка виробництва теплової енергії

із сонячної енергії має скласти 200 тис. т.н.е.¹⁹ Потенціал розвитку сонячних систем теплопостачання найперше залежить від рівня сонячного випромінювання та кількості сонячних днів в регіоні. Для України, показник середньорічної сонячної радіації коливається в межах від 800 до 1400 кВт·год/м² залежно від регіону (рис. 1.22). Найбільший рівень сонячного випромінювання у Одеській, Херсонській, Миколаївській, Запорізькій, Донецькій, областях та АР Крим, тому саме в цих регіонах можна досягти найвищих показників виробничої потужності сонячних колекторів, також враховуючи їх власний ККД.

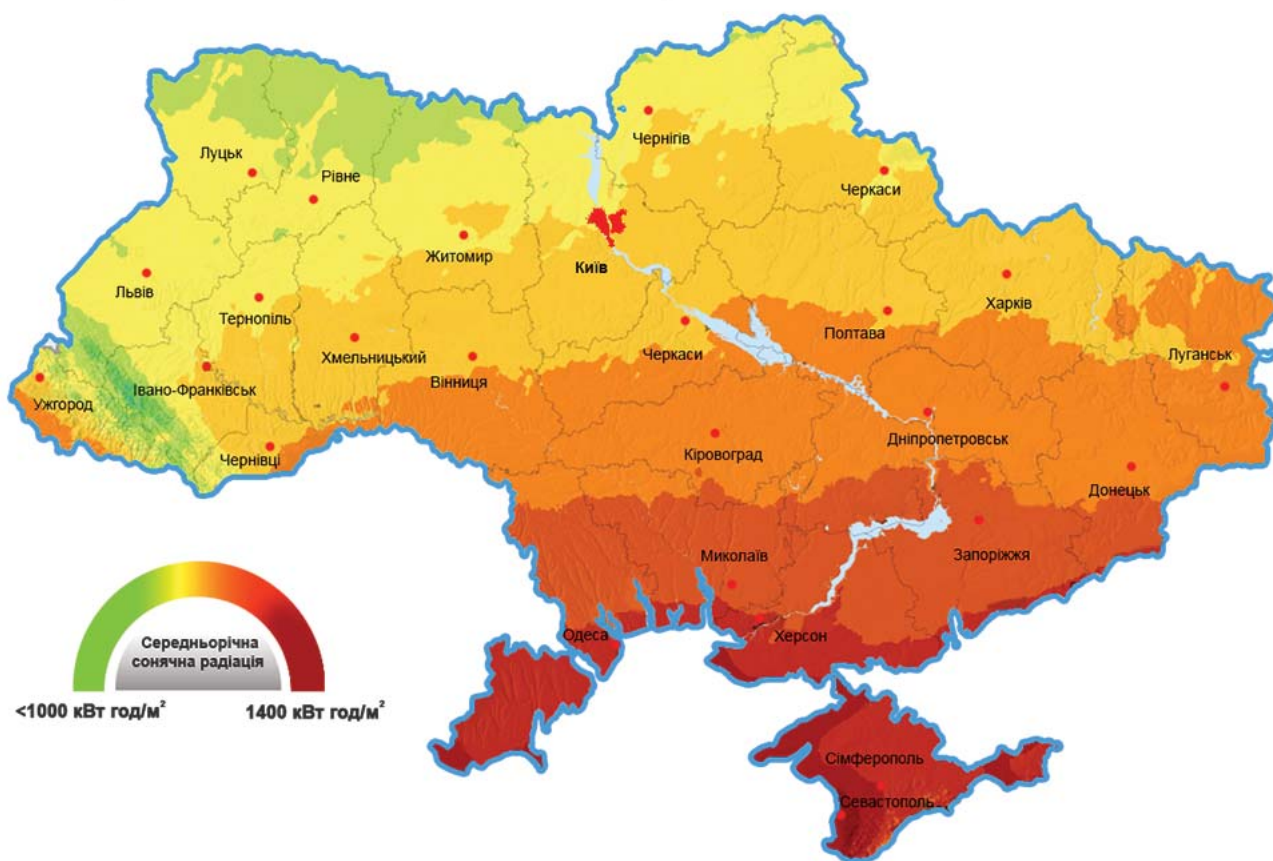


Рис. 1.22 Карта середніх річних показників сонячного випромінювання в Україні

Сонячні системи теплопостачання (ССТ) використовуються для виробництва теплової енергії для невеликих місцевих та індивідуальних теплосистем на об'єктах приватного та житлово-комунального сектору. ССТ можуть використовуватися сезонно та цілорічно. Для

автономного теплозабезпечення ССТ потребує додаткових потужностей для виробництва тепла для задоволення всіх потреб споживача у періоди недостатньої кількості сонячного випромінювання або зимовий період. ССТ складається з таких компонентів: сонячні

¹⁸ <http://ecotown.com.ua/files/energy-balance-2013.pdf>
¹⁹ <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/page3>

коллектори; регулятор; бак-акумулятор, розширювальний бак, робоча станція, теплообмінник, підігрівач, наприклад, теплоелектронагрівач (ТЕН) або інше джерело виробництва енергії (рис. 1.23).

Можуть застосуватись різні варіанти розміщення та типи обладнання: різні типи колек-

торів та їх розміщення (на даху (а), на землі (б), на стінах будівлі (в) див. рис. 1.24), різні баки-акумулятори (частіше це звичайні водяні баки, але, наприклад, у Данії чи Німеччині практикують також підземні варіанти сезонного довготривалого збереження теплової енергії).

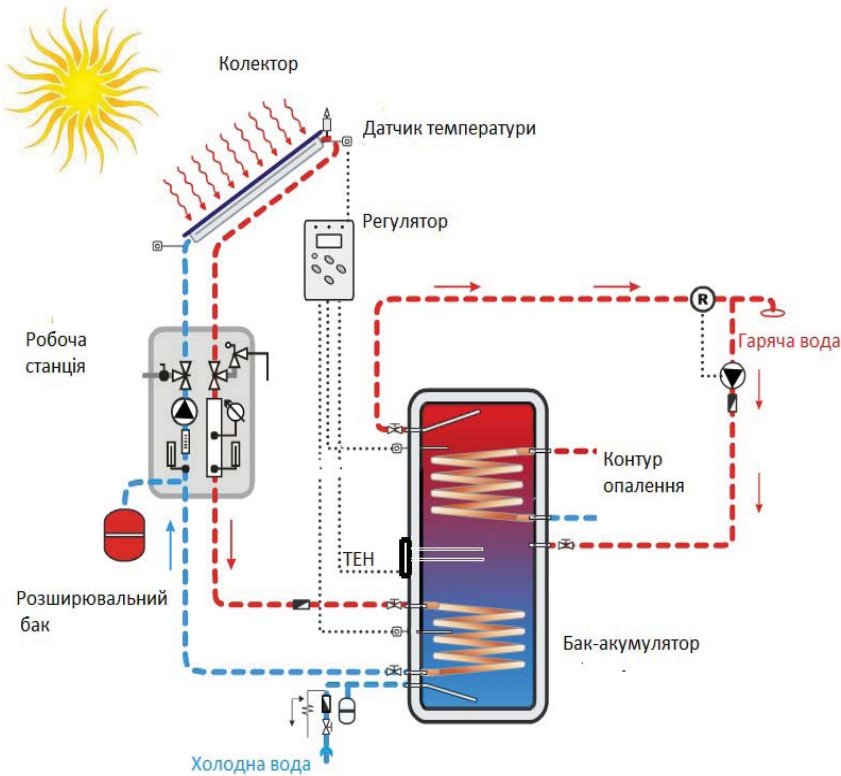


Рис. 1.23 - Принципова схема сонячної системи тепlopостачання

Є також різні комбінації ССТ з іншими додатковими джерелами виробництва енергії, наприклад: комбінація із системою, що працює на теплі від спалювання відходів та промислових процесів; комбінація з геотермальним теплом; комбінація з тепловим насосом; комбінація з котельною на біопаливі (приклад такої принципової схеми наведений на рис. 1.25).



а)



б)



в)

Рис. 1.24 Різні варіанти розміщення сонячних колекторів

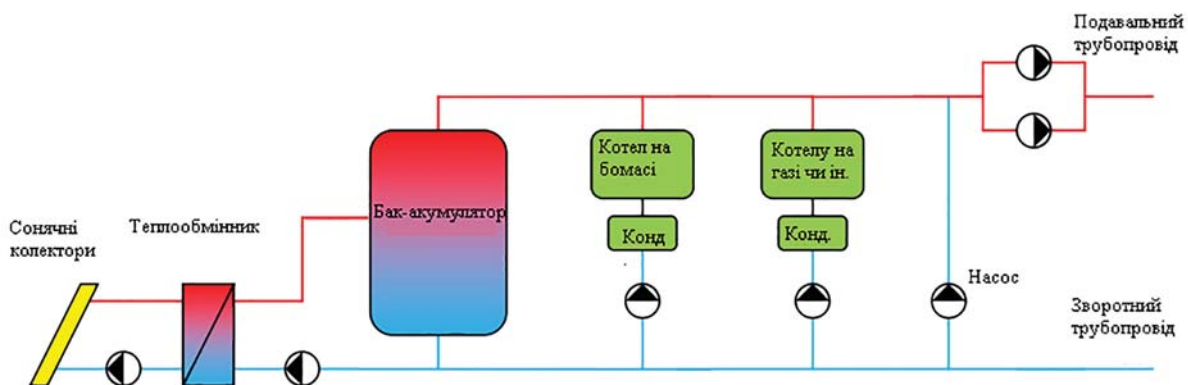


Рис. 1.25 Принципова схема комбінованої сонячної системи тепlopостачання з котельною на біопаливі



Рис. 1.26 Типи сонячних колекторів

Типи сонячних колекторів наведені на рис. 1.26.

Плоский колектор (рис. 1.27) складається з елемента, що поглинає сонячне випромінювання, прозорого покриття та термоізолюючого шару. Поглинаючий елемент називається абсорбентом, він з'єднаний з теплопровідною системою. Прозорий елемент зазвичай виготовляється із загартованого скла з пониженим вмістом металів (рис. 1.28).



Рис. 1.27 Зовнішній вигляд плоского колектору

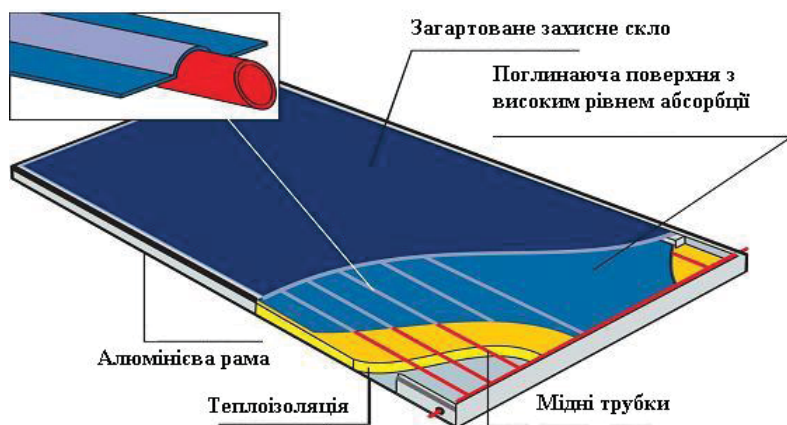


Рис. 1.28 Конструкція плоского колектору

За відсутності відбору тепла плоскі колектори здатні нагрівати воду до 190-200 °С. Чим більше енергії випромінювання передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вища його ефективність.

Підвищити ефективність колектору можна шляхом застосування спеціального оптичного покриття, яке не випромінює тепла в інфрачервоному спектрі. Стандартним способом підвищення ефективності колектору є застосування абсорбенту з листової міді через її високу теплопровідність. Плоскі сонячні колектори мають наступні переваги і недоліки (таблиця 1.15).

Таблиця 1.15

Переваги і недоліки плоских сонячних колекторів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – нижча вартість, порівняно з вакуумними колекторами до 500 \$/м²; – універсальність та зручність в експлуатації; – простий монтаж та обслуговування; – триваліший термін експлуатації (деякі виробники, зазначають термін експлуатації до 50 років²⁰); – встановлюються під будь-яким кутом. 	<ul style="list-style-type: none"> – максимально ефективні лише у літній період; – мають нижчий оптичний ККД 60-80% на відміну від трубчастих вакуумних колекторів може сягати до 85%; – у випадку пошкодження панелі колектор може повністю вийти з ладу, доведеться міняти всю панель; – високі тепловтрати у доквілля.

²⁰ <http://www.ekosystem.lviv.ua/p-Vaillantkoлектор>



Рис. 1.29 Зовнішній вигляд вакуумного сонячного колектору

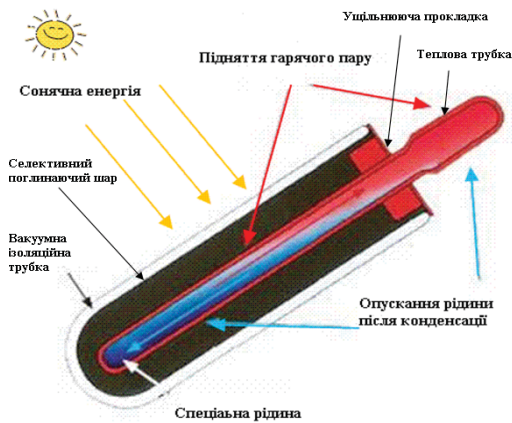


Рис. 1.30 Вакуумна трубка колектору

У вакуумному колекторі (рис. 1.29) можливе підвищення температури теплоносія аж до 250-300 °С в режимі обмеження відбору тепла. Це досягається завдяки зменшенню теплових втрат в результаті використання багатошарового скляного покриття, герметизації або створення в колекторах вакууму. Система з вакуумними колекторами, на відміну від плоских, здатна ефективно працювати цілий рік. Фактично сонячна тепла труба схожа за будовою з побутовими термосами (рис. 1.30). Тільки зовнішня частина труби прозора, а на внутрішній трубці нанесено високоселективне покриття, яке вловлює та концентрує сонячну енергію.

Між зовнішньою та внутрішньою трубками знаходиться вакуум. Саме вакуумний прошарок, як теплоізолятор, дає можливість зберегти близько 95 % уловлюваної теплової енергії. Трубки бувають наступних типів: коаксіальні трубки прямого нагріву, трубки U-тире, трубки із системою «Heat Pipe» (колектори з такими трубками є найбільш популярними на ринку).

Вакуумні сонячні колектори мають наступні переваги і недоліки (таблиця 1.16).

Таблиця 1.16

Переваги і недоліки вакуумних сонячних колекторів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – висока надійність; – максимальне використання кожного сонячного променя; – збереження високої продуктивності в зимній період завдяки теплоізоляції; – швидке повернення в робочий стан при обледенінні, покритті снігом чи інеем, встановлені під кутом 55°, стійкі до снігопадів; – навіть у хмарну погоду зберігають ефективність завдяки мінімальному теплообміну з навколишнім середовищем; – змінні модулі (у випадку пошкодження однієї чи кількох трубок колектор зберігатиме працездатність, а трубки можна замінити без демонтажу всієї установки); – легкість у монтажі; – антикорозійний мідний теплозбірник сонячного колектору; – високі теплоізоляційні властивості теплозбірника. 	<ul style="list-style-type: none"> – більш висока вартість до 1000 \$/м²; – можливе погіршення продуктивності під гострим кутом потрапляння сонячних променів.



Параболічний колектор-концентратор (рис. 1.31). Підвищення експлуатаційних температур теплоносія до 120-250 °С можливе шляхом введення в сонячні колектори концентраторів з допомогою параболоциліндричних рефлекторів, прокладених під поглинаючими елементами.

Рис. 1.31 Зовнішній вигляд параболічного колектору-концентратора

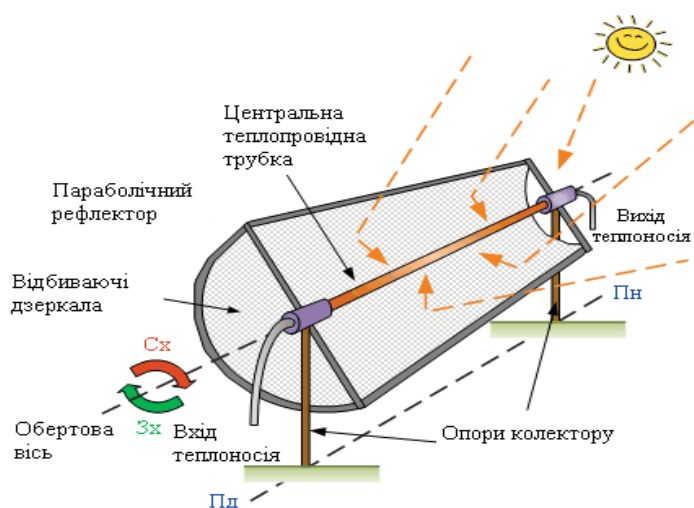


Рис. 1.32 Конструкція параболічного колектору-концентратора

Ці системи можуть генерувати вищі температури і типово використовуються для виробництва енергії у регіонах із високим рівнем прямого сонячного випромінювання, тому в Україні вони не набули широкого використання. Для отримання більш високих експлуатаційних температур потрібні пристрої стеження за сонцем. Вони є найбільш ефективними, так як використовують різні типи дзеркал (рис. 1.32). Параболічні колектори-концентратори мають наступні переваги і недоліки (таблиця 1.17).

Таблиця 1.17

Переваги і недоліки параболічних сонячних колекторів-концентраторів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> генерують високі температури теплоносія. 	<ul style="list-style-type: none"> працюють максимально ефективно під прямим сонячним випромінюванням, тому їх продуктивність зменшується в хмарний день; значні монтажні витрати, так як установка має бути рухливою, щоб направляти колектор-концентратор під прямі сонячні промені; колектори-концентратори є найбільш ефективними у використанні лише у посушливих та пустельних районах з високим рівнем сонячного випромінювання.

Основні постачальники і виробники сонячних колекторів в Україні та досвід використання

Сьогодні на ринку України є досить широкий вибір різноманітних сонячних колекторів різних виробників та технічних характеристик. Найбільш популярними є вакуумні колектори із коаксіальними вакуумними трубками із системою «heat-pipe». На ринку представлена продукція як іноземних, так і вітчизняних виробників. Серед іноземних присутні такі виробники: Altek; німецькі – Viessmann, Vaillant, Bosch, Buderus, Solvis, польські - Hewalex; грецькі – Sunrise; австралійські – Arpicus; італійські – Immergas; вітчизняні – Atmosfera, Прогресс-XXI, Красилівський агрегатний завод (випускає сонячні системи «Корді»). Сьогодні ССТ використовуються як в Україні, так і за кордоном. Одна з найбільших сонячних установок для виробництва теплової енергії знаходиться у Данії, м. Страндбі, будівництво якої завершилось у 2008 р. (рис. 1.33).



Рис. 1.33 Завод із сонячною системою тепlopостачання в м. Страндбі, Данія з площею сонячних колекторів 8000 м²

Технічні показники проекту:

- загальна площа сонячних колекторів 8000 м²;
- річне виробництво теплової енергії від сонця 3700 МВт·год; Колектори покривають навантаження на 100% тільки влітку. Для повного забезпечення в зимній період завод додатково обладнано когенераційною установкою та газовими котлами.
- об'єм бака-акумулятора для збереження теплової енергії 3000 м³;
- абсорбційний тепловий насос потужністю 0,24 МВт (тепловий насос, який працює завдяки не електроенергії, а воді, нагрітій від сонячної енергії);
- загальні інвестиції: 17,5 млн. датських крон (майже 57,5 млн. грн.)²¹.

²¹ <https://stateofgreen.com/en/profiles/ramboll/solutions/large-scale-solar-heating-in-strandby>

Індикативні показники вартості

Індикативна вартість вакуумних колекторів в Україні коливається в середньому в межах 10-25 тис. грн/м². Проте, для повної оцінки вартості інвестиційного проекту з впровадження сонячної системи тепlopостачання однієї лише вартості основного обладнання (сонячних колекторів) замало, через специфічні умови із реконструкції самої системи тепло- та водopостачання. Для того, щоб отримати розгорнуті (попередні) розрахунки, необхідно володіти великим обсягом інформації. Основні вихідні дані є наступні:

- період та кількість днів використання системи;
- тип споживання: лише гаряче водopостачання чи разом з опаленням;
- кількість людей, які споживатимуть теплову енергію;
- бажана температура води;
- середньодобове споживання гарячої води;
- кількість точок водовідбору;
- теплове навантаження будинку;
- необхідний/доступний розмір опалювальних площ;
- площа місця розміщення системи;
- кут відхилення можливого місця влаштування системи від південного напрямку;
- варіанти та площі можливих місць розміщення баків-акумуляторів.

Після надання цієї інформації постачальник обладнання зможе надати комерційну пропозицію, яка буде містити перелік основного обладнання, комплектуючих, які необхідні для обв'язки колекторів та обладнання, трубопроводів, автоматики, вартість робіт з монтажу, електропідключення; розрахунок продуктивності запропонованих колекторів для регіону, в якому знаходиться об'єкт, із зазначенням продуктивності колекторів на місяцях і їх ККД також на місяцях; ТЕО (техніко-економічне обґрунтування) і вартість розробки робочого проекту.

Загальні рекомендації щодо вибору сонячних колекторів

1. Умовно Україну розподіляють на чотири зони за кількістю сонячного випромінювання:
 - I – 1350 кВт·год/м² (4860 МДж/м²) – АР Крим і південна частина Одеської області;
 - II – 1250 кВт·год/м² (4500 МДж/м²) – південно-східні області;
 - III – 1150 кВт·год/м² (4140 МДж/м²) – центральні, північні та Закарпатська області;
 - IV – 1000 кВт·год/м² (3600 МДж/м²) – західні області.

Перш ніж обирати тип сонячного колектору необхідно визначити, в якій зоні знаходиться об'єкт, на якому планується встановити сонячні колектори, використовуючи карту сонячного випромінювання України (рис.8).

2. Визначити наявність та розмір вільних площ для розташування колекторів.
3. Ідентифікувати призначення колекторів – для гарячого водopостачання (ГВП) або ж часткове тепlopостачання, чи комбіновано ГВП/тепlopостачання.
4. Розрахувати необхідну кількість та температуру виробництва гарячої води, залежно від кількості споживачів, специфічних умов системи, добового погодинного графіку споживання води.
5. Визначити потрібну кількість енергії для нагріву визначеної кількості води, враховуючи, що для нагріву 1 л води на 1°C необхідна 1 ккал теплової енергії.
6. Визначити період експлуатації колекторів – сезонне чи цілорічне.
7. Визначити необхідний тип колекторів. Рекомендації щодо вибору типу колекторів залежно від періоду експлуатації, призначення та зони розташування наведені нижче у таблиці 1.18.

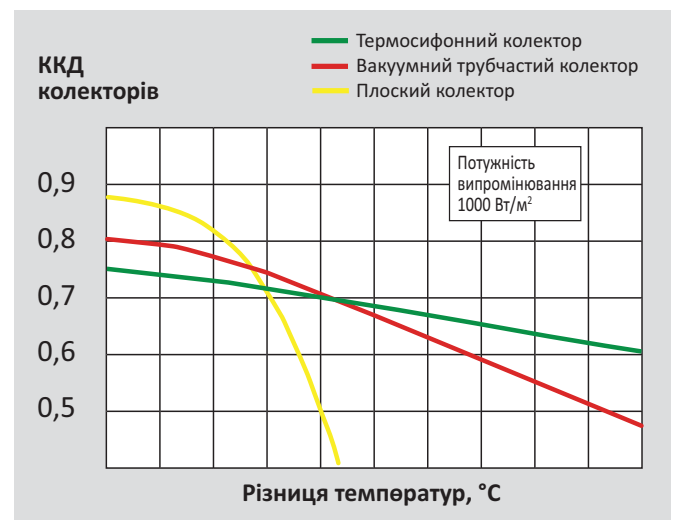


Рис. 1.34 ККД різних типів колекторів при потужності сонячного випромінювання 1000 Вт/м²

8. Визначити реальний ККД колектору (η), використовуючи графік (рис. 1.34). Кожен колектор має паспортне значення ККД, який зазначений у документації до сонячного колектору, але максимальне значення ККД досягається за умови, що різниця температури між колектором та навколишнім середовищем дорівнює нулю. У такому випадку колектор не має теплових втрат. Однак такі ідеальні умови в практиці не зустрічаються.

Таблиця 1.18

Рекомендації щодо вибору типу колекторів залежно від періоду експлуатації, призначення та зони розташування

Період використання	Цілорічний		Сезонний	
	Літній період	Зимній період	З квітня по жовтень	З травня по вересень
Призначення	ГВП	ГВП/опалення	ГВП	ГВП
Зона розташування	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2	3, 4
Забезпечення	До 100 %	До 25 %	До 100 %	До 80 %
Тип колектору	Вакуумний трубчатий (з трубками heat-pipe)		Плоский; вакуумний термосифонний*	
Додаткова система теплопостачання	Обов'язкова система резервного теплопостачання (напр. котел, тепловий насос), потрібен бак-акумулятор		Для повного забезпечення потреб споживачів потрібен бак-акумулятор внаслідок нерівномірного споживання води	
Потенційні об'єкти застосування	Лікарні, пологові будинки, дитсадки та інші об'єкти комунального, бюджетного, житлового сектору		Заміські приватні будинки, котеджі, літні дитячі табори, санаторії, готелі та інші об'єкти для літнього відпочинку, в тому числі об'єкти з басейнами та ін.	

* Термосифонні колектори – найпростіший і найдоступніший тип вакуумних сонячних водонагрівачів. Ефективний для забезпечення ГВП у літній період. Використовуються для забезпечення гарячою водою дач, котеджів, господарських і технічних потреб. Система працює за принципом термосифона²².

9. Визначити кількість енергії, яка буде виробляється одним колектором за день, за формулою:

$$E_k = E_c * S * \eta$$

Де E_c – рівень середньомісячного випромінювання, кВт год/м² (показники середньомісячного випромінювання в містах України наведено в таблиці 1.13);
 S – площа колектору, м²;
 η – коефіцієнт корисної дії колектору.

Таблиця 1.19

Показники середньомісячного випромінювання в містах України, кВт·год/м²/день*

Регіони / Місяці	січ.	лют.	бер.	квіт.	трав.	черв.	лип.	серп.	вер.	жовт.	лист.	груд.	Середні
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпропетровськ	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоград	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99

²² <http://www.atmosfera.ua/produkcija/termosifonnye-geliosistemy/>

Продовження табл. 1.19

Регіони / Місяці	січ.	лют.	бер.	квіт.	трав.	черв.	лип.	серп.	вер.	жовт.	лист.	груд.	Середні
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

* середній показник за останні 22 роки за даними NASA <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030>

10. Визначити кількість та площу колекторів, які можуть забезпечити нагрів води, та порівняти потрібну площу з наявною для розміщення сонячних колекторів.

11. Враховуючи необхідну площу колекторів, підібрати ємність бака-акумулятора та довжину труб теплообмінника, з врахування того, що для 1 м² колектору необхідно приблизно 50 л бака-акумулятора²³ (див. табл. 1.20).

Таблиця 1.20

Довжина теплообмінника та розмір бака-акумулятора залежно від площі колекторів

Площа поверхні колекторів, м ²	Об'єм бака-акумулятора, л	Довжина труб теплообмінника, м
2	100-200	6
3	150-300	9
4	200-400	12
і т.д.	і т.д.	і т.д.

Вплив на викиди парникових газів

Завдяки тому, що для функціонування ССТ використовується CO₂-нейтральне джерело відновлювальної енергії (сонячна енергія), скорочуються викиди парникових газів та інших забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Кожен заміщений 1 м³ природного газу сонячною енергією дає змогу скоротити приблизно 0,002 т CO₂.

Висновки щодо застосування сонячної системи тепlopостачання

Отже, ССТ є перспективним джерелом виробництва теплової енергії в Україні, завдяки достатній кількості сонячного випромінювання, особливо у південних регіонах. Проаналізувавши властивості різних типів сонячних колекторів, можна зробити висновок, що вакуумні трубчасті колектори є найбільш практичними для використання, адже мають здатність підтримувати досить високу про-

дуктивність навіть у зимовий період. Вони мають менші тепловтрати порівняно з плоскими, зручні в монтажі і експлуатації, хоча коштують більше. Загалом ССТ має наступні переваги: не потребує палива (окрім електроенергії для насосів); не викидає забруднюючі речовини та CO₂ в навколишнє середовище; не потребує значних людських ресурсів для експлуатації (потрібно лише періодично протирати поверхню від пилу та сторонніх предметів і замінити певні складові, у випадку їх виходу з ладу); здатна значно замінити використання енергії від традиційних викопних ресурсів; не потребує додаткових площ (у випадках встановлення на даху або на стінах будинків чи споруд). Однак має і недоліки: залежить від погодних умов та пори року; потребує комбінування в комплексі з додатковими джерелами виробництва теплової енергії; досить високі капітальні витрати на обладнання; тривалий термін окупності – 5-15 років.

²³ http://necu.org.ua/wp-content/uploads/WECF_Con.solar_collector_russ.02.05-.pdf

1.4. Використання енергії довкілля за допомогою теплових насосів

Природа пропонує нам численні можливості для екологічно чистого та економічно ефективного виробництва теплової енергії. Теплові насоси використовують енергію, яку природа дає нам безкоштовно. Земля, зокрема, володіє гігантськими запасами енергії. У декількох метрах нижче її поверхні вона зберігає сонячне тепло. Теплові насоси використовують теплоту ґрунту та ґрунтових вод в залежності від технології. Енергія, накопичена в атмосферному повітрі, також підходить для обігріву приміщень і виробництва гарячої води. Теплові насоси можуть використовувати ці природні ресурси і, таким чином, істотно знижують витрати на виробництво теплової енергії.

Теплові насоси - це компактні економічні й екологічно чисті системи опалювання, що дозволяють отримувати теплову енергію для гарячого водопостачання й опалювання будівель за рахунок ви-

користання тепла низькопотенційного джерела (теплота ґрунту, ґрунтових та артезіанських вод, озер, морів, тепло повітря) шляхом перенесення його до теплоносія із вищою температурою (рис. 1.35). Незалежно від того, яка технологія використовується, теплові насоси стабільно працюють навіть при низьких температурах навколишнього середовища. Необхідна кількість теплової енергії тепловим насосом забезпечується частково з навколишнього середовища, а частково за рахунок електричної енергії (при значному зниженні температури навколишнього середовища, споживання електроенергії тепловим насосом збільшується). Основною характеристикою теплового насосу є коефіцієнт перетворення COP (*Coefficient of Performance* – англ.), який характеризує співвідношення кількості теплової енергії, яка виробляється тепловим насосом та електричної енергії, яка ним споживається.

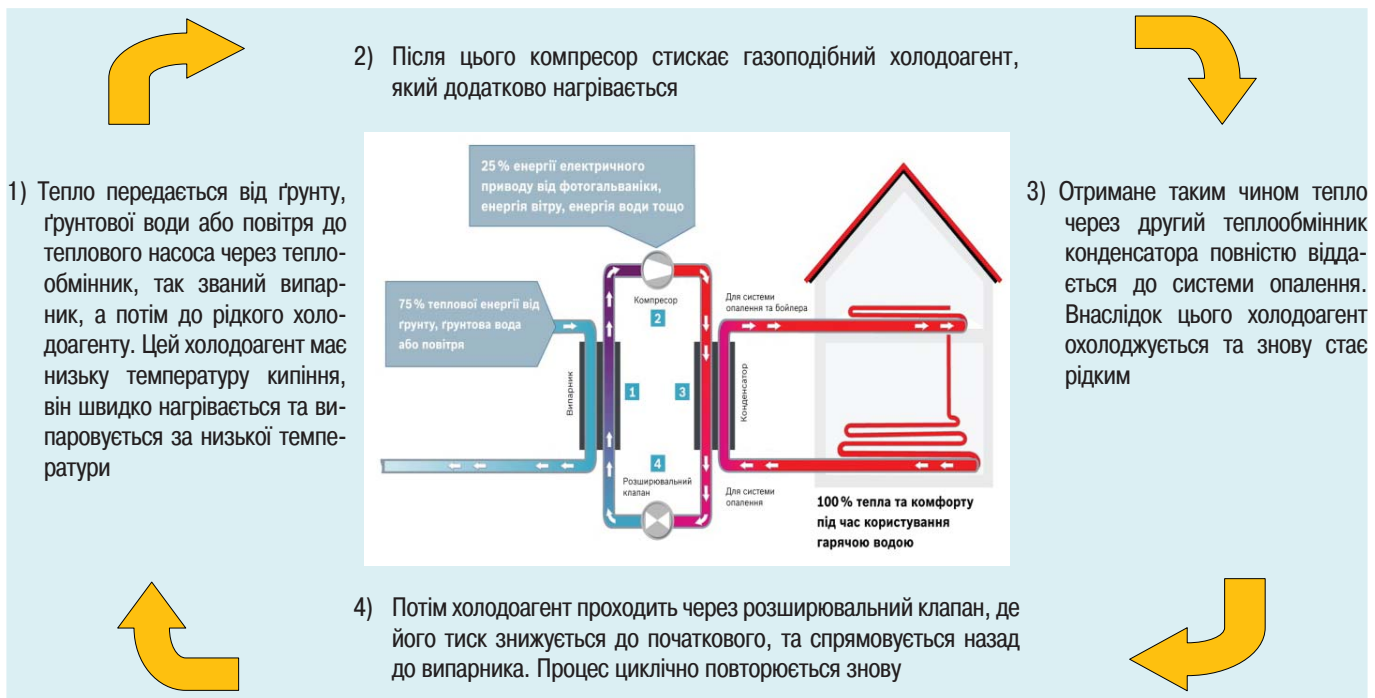


Рис. 1.35 Принцип роботи теплового насосу



Рис. 1.36 Баланс енергії теплового насосу

Якщо електроенергія постачається від фотovoltaїки (отримання електроенергії за допомогою фотоелементів), користь для довкілля буде ще більшою: тепловий насос працює без використання викопних енергоресурсів.

Залежно від технології теплові насоси можуть споживати теплову енергію від кількох різних

джерел, які поділяються на **природні та техногенні**.

Природні джерела низькопотенційної теплової енергії відносяться до відновлювальних і можуть використовуватися в залежності від їх енергетичного потенціалу, який здебільшого залежить від температури цих джерел.

АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Енергетичний потенціал навколишнього атмосферного повітря залежить від пори року. При цьому температура повітря коливається від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$ влітку та від -25°C до $+10^{\circ}\text{C}$ взимку. Однак, незважаючи на це, сучасні технології дозволяють використовувати навколишнє повітря в якості джерела теплової енергії майже цілорічно (до -15°C ... -20°C) (рис. 1.37).

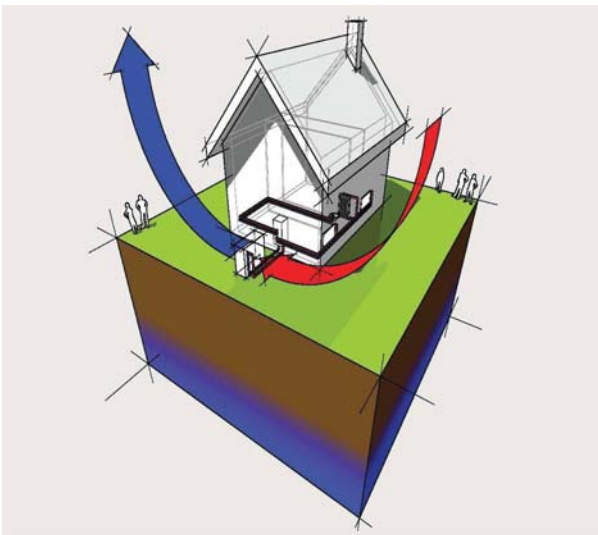


Рис. 1.37 Повітряний тепловий насос

Компресор може розташовуватися або зовні, для запобігання шуму в будинку, або у внутрішньому модулі. У моноблоках всі елементи збираються у загальному корпусі і вмонтовуються у будинку, а з зовнішнім середовищем з'єднуються гнучкими повітроводами. Є моноблоки, що допускають як зовнішній, так і внутрішній монтаж.

Завдяки широкому діапазону потужностей, такі теплові насоси мають дуже широкий спектр застосування, і можуть бути використані для опалення як приватних будинків, так і великих громадських (шкіл, дитячих садочків, лікарень, бізнес-центрів тощо) і житлових будівель (рис. 1.39).

Переваги використання атмосферного повітря:

- ✓ відмінна доступність до джерела енергії без переоснащення;
- ✓ не потрібно дозволу;
- ✓ компактні розміри;
- ✓ найнижчі інвестиційні витрати;
- ✓ відмінно підходить для модернізації старих систем опалення.

Системи тепlopостачання/охолодження з повітряними тепловими насосами (у порівнянні з іншими типами) мають найменші затрати на впровадження, так як не вимагають впровадження додаткових теплообмінних контурів, теплообмінників тощо.

Повітряні теплові насоси можуть нагрівати як повітря (тип «повітря-повітря»), яке направляє в приміщення для його обігріву, так і воду (тип «повітря-вода»), яка використовується в водяних системах опалення та гарячого водопостачання. Конструктивно пристрої типу «повітря-вода» виконуються по двох компоновальних схемах: спліт і моно. У першому випадку установка складається із двох блоків, сполучених комунікаціями. Один, зовнішній, включає вентилятор і випарник (вмонтовується на ділянці недалеко від будинку або на фасаді). Другий, внутрішній, містить конденсатор і автоматику та встановлюється у приміщенні (рис. 1.38).

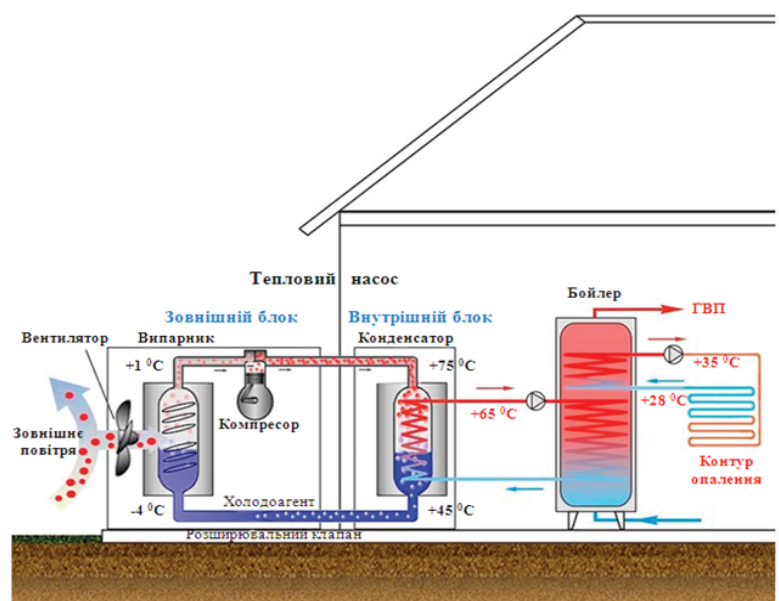


Рис. 1.38 Розміщення елементів повітряного теплового насосу



Рис. 1.39 Встановлення повітряного теплового насосу на фасаді будівлі

Енергетичний потенціал відкритих водойм залежить як від їх температури, яка коливається від +3...+5 °С взимку до +20...+25 °С влітку, так і від водотоннажності та типу водойми (рис. 1.40). Великі водойми з проточною водою (великі річки, моря) мають більший енергетичний потенціал у порівнянні з невеликими річками або ставками із стоячою водою, тому що майже не замерзають взимку і мають велику водотоннажність.

Переваги використання відкритих водойм:

- постійно висока температура навколишнього середовища (води);
- невеликий теплообмінний контур.

Відкрита водойма (річка, озеро, море)



Рис. 1.40 Водяний тепловий насос

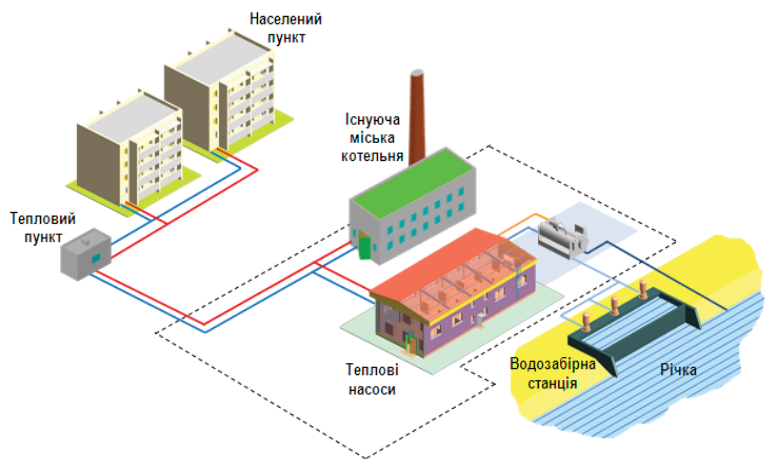


Рис. 1.41 Елементи централізованої системи тепlopостачання міста з водяним тепловим насосом

Використання водяних теплових насосів в якості джерела теплоенергії можливе при наявності у безпосередній близькості до споживачів теплової енергії відкритої водойми (річки, моря тощо), а також доступу до її використання. Впровадження таких теплових насосів передбачає використання водозабірної, насосної, теплообмінної та іншого додаткового обладнання, а також систему трубопроводів (рис. 1.41). Це обладнання використовується для безпосереднього забору води з водойми та її транспортування до теплового насосу. Такі теплові насоси можуть застосовуватися для тепlopостачання громадських закладів, розташованих на березі річки чи моря (санаторії, басейни), а також у системах централізованого тепlopостачання при розташуванні опалювальної котельної поблизу водойми. В таких випадках використовуються потужні теплові насоси та існуюча інфраструктура котельної.

ҐРУНТ ТА ҐРУНТОВІ ВОДИ

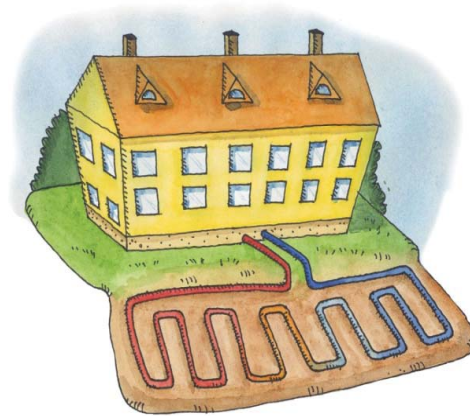


Рис. 1.42 Ґрунтовий тепловий насос

Використання теплоти ґрунту та ґрунтових вод в якості джерела теплової енергії для теплових насосів можливе завдяки їх сталій температурі, яка складає +7...+13 °С взимку і влітку.

При цьому енергетичний потенціал ґрунту доступний для використання тепловим насосом, збільшуватиметься із збільшенням відстані від поверхні землі вглиб ґрунту (рис. 1.42).

Переваги використання ґрунту та ґрунтових вод:

- стабільне і надійне джерело енергії: протягом року постійна температура 7...13°C;
- хороша акумуляція тепла, навіть у дуже холодний період року.

Ґрунтові теплові насоси, які використовують теплоту ґрунту або ґрунтових вод є найбільш доступними для використання за видом джерела низькопотенційної теплової енергії. Особливістю впровадження таких теплових насосів є необхідність прокладання у ґрунті спеціальних теплообмінників, які можуть бути як горизонтальними так і вертикальними (рис. 1.43). При прокладанні горизонтальних теплообмінників виникає необхідність зняття верхнього шару ґрунту товщиною 1,5-2 м, а для вертикальних теплообмінників (зондів) необхідно занурювати їх у землю на глибину від 20 до 150 м. Тому при впровадженні ґрунтових теплових насосів необхідно мати вільну від забудови, комунальних мереж та іншого земельну ділянку площею 0,5...0,8 м²/кВт (при вертикальному прокладанні та відстанню між свердловинами не менше 6 м) або 20...40 м²/кВт (при горизонтальному прокладанні та відстанню між трубами 0,5...1 м).

Геотермальна енергія для дому

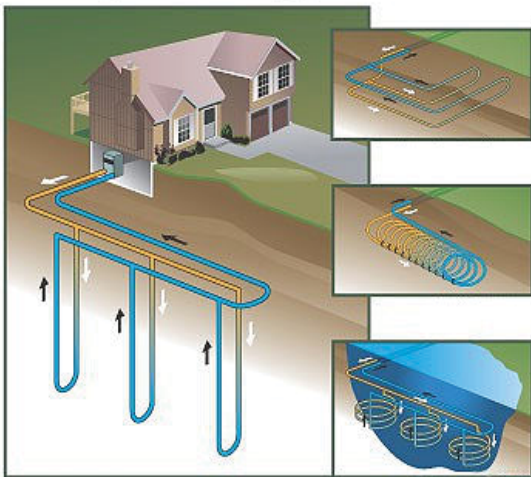


Рис. 1.43 Варіанти прокладання зондів ґрунтового теплового насосу

Попри значні обсяги земельних робіт, при впровадженні ґрунтових теплових насосів, вартість їх виконання складає 40-50 % загальної вартості проекту з впровадження такого обладнання. Необхідність використання вільних земельних ділянок для зняття теплоти ґрунту, ґрунтові теплові насоси застосовують, як правило, для індивідуального теплозабезпечення

приватних житлових будинків або громадських закладів з тепловим навантаженням 20-40 кВт. Техногенні джерела низькопотенційної теплової енергії на відміну від природних мають обмеження для їх використання не тільки по температурі, а й по їх кількості, яка залежить від конкретного промислового процесу, в результаті якого утворені ці джерела. У більшості випадків в якості техногенного джерела низькопотенційної теплової енергії виступає нагріта вода (рис. 1.44), а також вентиляційне повітря. Найбільш розповсюдженими техногенними джерелами низькопотенційної теплової енергії є вода градирень (температура +30...+40°C), охолоджуюча вода технологічного обладнання (температура +35...+45 °C), а також шахтна дренажна вода (температура +20...+30 °C).

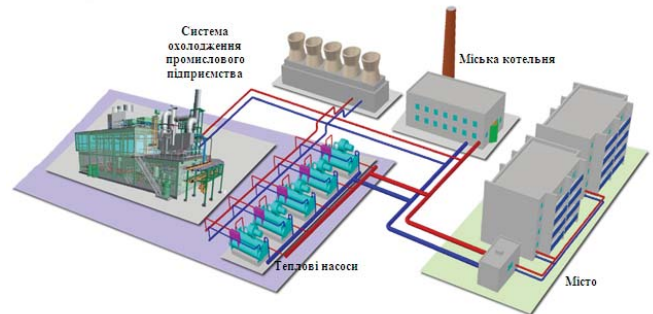


Рис. 1.44 Елементи централізованої системи тепlopостачання міста з тепловим насосом на охолоджуючій воді промислового підприємства

Одним з найбільш розповсюджених джерел низькопотенційної теплової енергії, які можуть бути використані для теплових насосів в населених пунктах з централізованим водопостачанням та водовідведенням, є комунально-побутові стоки. Енергетичний потенціал стоків залежить від їх температури, яка складає +15...+25 °C, а також від їх кількості, яка в свою чергу залежить від кількості мешканців населеного пункту (рис.1.45).

В цьому випадку доцільно використовувати вже очищені комунальні стоки, які по стічному колектору скидаються у водойму. Для цього у колекторі розміщується теплообмінник, за допомогою якого теплова енергія передається проміжному теплоносію, який передає її до теплового насосу.

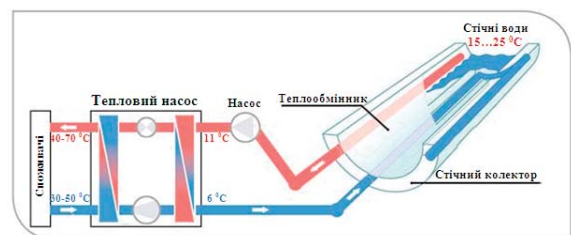


Рис. 1.45 Схема відбору теплової енергії для теплового насосу від комунально-побутових стоків

Таким чином, наявність широкого спектру різ- нотемпературних джерел теплової енергії дає можливість застосовувати в ЖКГ відповідні технологічні елементи та рішення для тепло- вих насосів, що спричиняє значний діапазон

ефективності теплових насосів в залежності від зазначених факторів. Загалом теплові насоси за своїми функціо- нальними особливостями розділяються на чо- тири групи (Таблиця 1.21).

Таблиця 1.21

Функціональні особливості теплових насосів

Тип теплового насосу	Джерело теплової енергії	Теплоносіє, що нагрівається	Загальні особливості
Повітря-повітря	Атмосферне повітря	Повітря всередині приміщення	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відносно високий середньорічний коефіцієнт перетворення COP 2. Можливість використання існуючих систем кондиціонування та вентиляції для опалення 3. Неможливо використовувати для систем ГВП
Повітря-вода	Атмосферне повітря	Вода для опалення та ГВП	<ol style="list-style-type: none"> 1. Більш доступна ціна (у порівнянні з іншими типами) 2. Можливість використання для водяних систем опалення на ГВП 3. Кондиціонування забезпечується з невеликими тепловтратами.
Вода-вода	Вода (природних або техногенних джерел)	Вода для опалення та ГВП	<ol style="list-style-type: none"> 1. Максимальний середньорічний коефіцієнт перетворення COP 2. Порівняно високі затрати на впровадження, які обумовлені прокладанням трубопроводів, будівництвом насосної станції тощо
Ґрунт-вода	Ґрунт або ґрунтові води	Вода для опалення та ГВП	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постійна температура джерела теплоенергії протягом року 2. Значні затрати на прокладання земляних зондів

Крім зазначених у таблиці 1.21 типів тепло- вих насосів, також можуть бути застосовані «вода-повітря» та «ґрунт-повітря», які відрізняються типом теплоносія, який нагрівається, або типом джерела теплової енергії.

В таблиці 1.22 наведені основні типи джерел теплової енергії, найбільш розповсюджені в Україні, а також їх основні властивості. Як і будь-яке обладнання, в тому числі тепло- генеруюче, теплові насоси мають як свої переваги, так і недоліки (таблиця 1.23).

Таблиця 1.22

Типи джерел теплової енергії, найбільш розповсюджені в Україні

Джерело теплової енергії	Характеристика джерела теплової енергії	Основні фактори для використання теплових насосів	Додаткові вимоги
Навколишнє повітря	Широкий діапазон зміни атмосферного повітря (від -30 до +38°C)	Повітряні теплові насоси є простими в експлуатації, не потребують особливих умов експлуатації та можуть використовуватися для всього сектору ЖКГ	За низьких температур атмосферного повітря необхідне додаткове джерело теплоенергії (наприклад, електрочотел)
Ґрунтові води	Температура води знаходиться на рівні +7...+9 °C	Можливе застосування там, де є горизонт ґрунтових вод на прийнятній глибині	Необхідно зробити нові свердловини та мати доступ до води прийнятної якості
Ґрунт	Температура ґрунту варіюється в межах +8...+13°C	Можливе застосування там, де є великі вільні площі землі	Існують обмеження ландшафтного характеру для встановлення ґрунтових теплообмінників

Джерело теплової енергії	Характеристика джерела теплової енергії	Основні фактори для використання теплових насосів	Додаткові вимоги
Стічні води	Температура стоків коливається в межах +15...+25°C	Виробництво та споживання теплової енергії можливо неподалік від станцій очистки каналізаційних стоків або колекторів	Обмеження логістичного характеру, оскільки споживачі тепла розташовуються подалі від очисних споруд ²⁴
Відкриті водойми	Температура у водоймах знаходиться в межах +4...+22°C. Це можуть бути озера, ріки, море тощо	Неподалік від водойм відповідної глибини та площі поверхні	Контури теплообмінника піддаються впливу агресивного середовища у воді і потребують додаткового захисту та обслуговування
Вентиляційне повітря	Температура вентиляційного повітря коливається в межах +15...+26°C	Як правило, у великих офісах та будинках з централізованою системою витяжної вентиляції	Обмеження внаслідок необхідних обсягів витяжного повітря, можливості розміщення теплових насосів тощо
Промислове скидне тепло	Температура скидної енергії може перевищувати +300°C, хоча залежить від конкретного виробничого процесу та може бути значно нижчою (+25...+45°C)	Як правило, підприємство повинно мати доступ до міських тепломереж для постачання теплоенергії на потреби ЖКГ	Існують інфраструктурні обмеження. Як правило, це теплові насоси великої потужності, отже, існує проблема збуту енергії, особливо в літній період за відсутності гарячого водопостачання

Таблиця 1.23

Переваги та недоліки теплових насосів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – високий коефіцієнт корисної дії (коефіцієнт перетворення COP). Як правило, сучасні теплові насоси здатні забезпечувати виробництво теплової енергії на рівні від 3 до 7 МВт-год, споживаючи лише 1 МВт-год електричної енергії; – низькі експлуатаційні витрати. Порівняно з традиційними котлами, експлуатаційні та сервісні витрати для теплового насоса менші у 2-5 разів; – простота експлуатації. Експлуатація є повністю автоматизована та доступна для всіх вікових категорій людей; – пожежна безпека. Є вищою порівняно з традиційними системами тепlopостачання, з огляду на відсутність елементів спалювання палива; – універсальність. Теплові насоси можуть також працювати в режимі кондиціонування, опалення та гарячого водопостачання; – надійність та стабільність роботи. Обумовлені простотою конструкції теплових насосів, низьким рівнем коливань температури та вологості повітря внаслідок роботи теплових насосів; – екологічність. Викиди забруднюючих речовин здійснюються за межами міста і локалізуються на місці виробництва електроенергії. 	<ul style="list-style-type: none"> – висока вартість обладнання; – додаткове навантаження на електромережі; – низька ефективність обігріву при дуже низьких температурах навколишнього середовища; – необхідні специфічні умови використання природних ресурсів ; – необхідність реконструкції існуючої системи опалення при її використанні з тепловими насосами.

Виробники теплових насосів

Для забезпечення опалення в холодному кліматі використовуючи енергію повітря рекомендується застосовувати обладнання виробників, які мають найкращі характеристики у порівнянні з існуючими на ринку аналогами від інших виробників. Світові лідери з виробництва теплонасосного обладнання пропону-

ють теплові насоси, що забезпечують високий коефіцієнт перетворення навіть при від'ємній температурі зовнішнього повітря -28°C.

До основних виробників теплових насосів можна віднести: Daikin, Mitsubishi Electric, Fujitsu General, LG, Panasonic, ROTEX, Sanyo, Glen Dimplex, Buderus, Alpha Innotec, Waterkotte, Heliotherm, IDM, Ochsner, Rehau тощо.

²⁴ В Україні значна частина житлових масивів побудовані неподалік від колекторів та станцій очистки, а тому питання теплових насосів на стічних водах є актуальним

В Україні теплові насоси не виробляються в повному обсязі. На сьогоднішній день є багато українських підприємств, які здійснюють випуск вітчизняних теплових насосів із використанням комплектуючих елементів закордонного виробництва, або здійснюють крупновузлове збирання імпортованих теплових насосів. Крім цього, такі підприємства надають покупцям теплових насосів послуги з монтажу та сервісного обслуговування. До таких підприємств, зокрема, відносяться концерн «Укрросметалл», м. Суми, «В.Д.Е.–Україна» (м. Бровари).

Індикативні показники вартості теплових насосів

Теплові насоси вимагають високих капітальних витрат. За оцінками Національної академії наук України та компанії «Інсолар-Клімат» вартість теплових насосів варіюється в залежності від встановленої потужності (рис. 1.46).

Загальні рекомендації щодо вибору теплового насосу

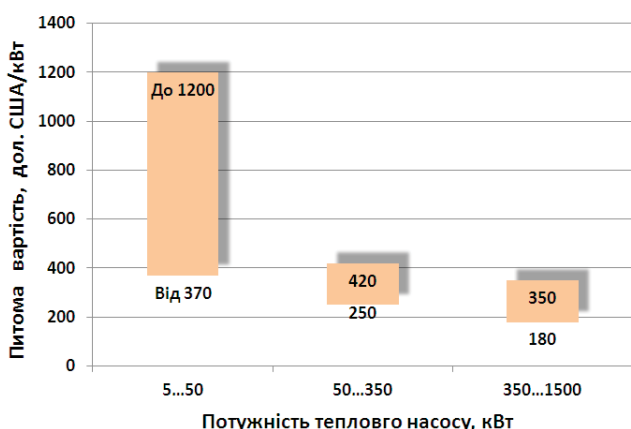


Рис. 1.46 Індикативні показники питомої вартості теплових насосів

Впровадження технології виробництва теплової енергії з використанням теплового насосу складається з кількох початкових етапів, серед яких:

1. Ідентифікація наявних низькопотенційних джерел теплової енергії для теплового насосу, в якості яких можуть розглядатися: на-

вколишне повітря, відкрита водойма (ріка, озеро чи море), комунально-побутові стоки, промислові теплові скиди (від технологічного обладнання), відкритий ґрунт тощо.

2. Визначення доступності для використання низькопотенційного джерела теплової енергії та можливості транспортування теплоенергії до споживачів (відстань від низькопотенційного джерела теплової енергії до споживачів теплоенергії, можливість прокладання трубопроводів, наявність котельні та її інфраструктури тощо).
3. Визначення величини доступного для використання енергетичного потенціалу низькопотенційного джерела теплової енергії.
4. Вибір типу теплового насосу (ґрунтовий, водяний або повітряний) в залежності від:
 - виду наявного низькопотенційного джерела теплової енергії (повітря, вода або ґрунт);
 - виду теплоносія (вода-вода, повітря-вода, повітря-повітря, вода-повітря);
 - сфери застосування (опалення або ГВП).
5. Визначення та аналіз основних техніко-економічних показників теплового насосу:
 - добового та сезонного графіку споживання теплової енергії;
 - теплової потужності, в залежності від необхідного обсягу споживання теплоенергії споживачем та доступного для використання енергетичного потенціалу низькопотенційного джерела теплової енергії;
 - електричної потужності;
 - коефіцієнту перетворення (COP).
6. Визначення наявності запасу електричної потужності в місці встановлення теплового насосу (запас потужності повинен бути не меншим сумарної електричної потужності теплового насосу та циркуляційних насосів).
7. Вибір теплового насосу відповідного типу та теплової потужності.

Рекомендації щодо вибору теплових насосів наведено у таблиці 1.24.

Таблиця 1.24

Рекомендації щодо вибору теплових насосів

	Система тепlopостачання			
	Автономна		Централізована	
	ГВП	Опалення	ГВП	Опалення
Потенційне теплозабезпечення	До 100 %	До 90 %	До 100 %	До 80 %
Потенційні об'єкти застосування	Лікарні, пологові будинки, школи, дитячі садки, басейни, гуртожитки, готелі та інші об'єкти комунального, бюджетного, житлового сектору		Всі об'єкти приєднані до централізованого тепlopостачання	

Продовження табл. 1.24

	Система тепlopостачання			
	Автономна		Централізована	
	ГВП	Опалення	ГВП	Опалення
Тип теплового насосу	Повітряний, ґрунтовий, водяний, на комунально-побутових стоках		Водяний, на комунально-побутових стоках, на техногенних теплових скидах	
Додаткова система тепlopостачання, додаткове обладнання	Бак-акумулятор	Обов'язкова система резервного тепlopостачання (напр. газовий або електричний котел), потрібен бак-акумулятор	Бак-акумулятор	Обов'язкова система резервного тепlopостачання (напр. газовий або електричний котел), потрібен бак-акумулятор
Розміщення теплового насосу	Безпосередньо у споживача		На міській або районній котельні. В окремій будівлі	

Теплові насоси можуть бути рекомендовані для впровадження в ЖКГ України як технологія, що забезпечує ефективне використання енергії навколишнього середовища та призводить до зменшення експлуатаційних витрат і забруднення навколишнього середовища.

В залежності від загального коефіцієнту корисної дії, теплові насоси можуть зараховуватись до частки відновлювальної енергетики та забезпечувати скорочення викидів парникових газів у атмосферу.

Вплив на викиди парникових газів

Теплові насоси не призводять до безпосередніх викидів парникових газів в атмосферу, але можуть призводити до їх скорочення. Скорочення викидів відбувається в результаті заміщення природного газу, який використовується при виробництві теплової енергії альтернативними джерелами енергії (навколишнє повітря, вода, ґрунт тощо). Кожен заміщений 1 м³ природного газу енергією доквілля, дає змогу скоротити викиди приблизно 0,002 т CO₂. Однак, викиди CO₂ спричиняє використання електроенергії (виробленої на вугільних або газових електростанціях), яка необхідна для роботи теплового насосу. Тому, чим вища ефективність теплового насосу, тим менше споживання електроенергії і тим менші викиди CO₂. Повна відсутність викидів парникових газів можлива при споживанні тепловими насосами електроенергії, виробленої з альтернативних джерел, таких як сонце, вітер тощо.

Висновки щодо застосування теплових насосів в системах тепlopостачання

На сьогоднішній день теплові насоси широко застосовуються у всьому світі. Кількість теплових насосів, що працюють в Японії, Європі та США обчислюється десятками мільйонів штук. Забезпечення тепlopостачання житлових і виробничих приміщень на основі енергетичних

технологій з використанням теплових насосів – один з напрямків світової відновлюваної енергетики, який найбільш динамічно розвивається. Щорічне зростання кількості встановлених майже у тридцяти країнах таких систем оцінюється в 10%. Величина встановленої теплової потужності досягає 10100 МВт, а щорічне виробництво теплової енергії становить близько 59000 ТДж (16470 ГВтгод).

На ринку України теплові насоси не набули широкого застосування, однак умови для їх впровадження вже визначилися. Застосування децентралізованих систем тепlopостачання на базі теплонасосних установок у районах, де теплові мережі відсутні, або у нових житлових районах дозволить уникнути багатьох технологічних, економічних та екологічних недоліків централізованого тепlopостачання. Наприклад, при модернізації індивідуального теплового пункту застосування теплових акумуляторів і теплового насоса з потужністю приводу компресора 6,5 кВт дозволило забезпечити потреби системи ГВП з розрахунковою піковою потужністю 180 кВт. В адміністративних будівлях, де необхідно забезпечувати значний приплив свіжого повітря, схеми з ТН класу «повітря-повітря» дозволяють економити до 65% тепла на підігрівання припливного повітря.

Перспектива застосування теплових насосів може бути оцінена при розгляді конкретних задач енергозбереження. При цьому тільки комплексний підхід до їх використання, комбінування процесів виробництва тепла і холоду, утилізація теплоти відхідних газів та витяжного повітря, раціональне поєднання теплонасосного й електричного обігрівання, оптимальний вибір джерел низькопотенціальної теплоти, теплоакумуляторів і температурного режиму роботи установки можуть компенсувати недолік, пов'язаний з її високою вартістю.

НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

2.1. Загальна інформація

Основними комунікаціями для забезпечення населення та промисловість питною та технічною водою, а також з метою відведення стоків (комунальних або технічних) є системи водопостачання та водовідведення (каналізації).

Системи водопостачання — це комплекс інженерних споруд, які призначені для забору води з джерела водопостачання, її очищення, зберігання, знезараження і подачі до споживача. За видами використання природних водних джерел вирізняють водопроводи (системи водопостачання), що забирають воду з поверхневих джерел — річок, водосховищ, озер, морів, і водопроводи, що забирають воду з підземних джерел (артезіанських, джерельних). Існують також водопроводи змішаного живлення.

Водопровідна система України це доволі складний інженерний комплекс, річна продуктивність якого сягає 2×10^9 м³. Протяжність водопровідних мереж складає 179808,9 км.

Постачання питної води населенню здійснюється у кілька основних етапів, зокрема:

1. Забір та підйом води з водойми або свердловини.
2. Очищення води та закачування її до резервуарів.
3. Розподіл чистої води з резервуарів по водопровідній системі.
4. Постачання питної води споживачам.

Водовідведення — технологічний процес, який забезпечує приймання стічних вод від абонентів для подальшої передачі на очисні споруди каналізації та скидання їх у водойми після очищення.

Протяжність каналізаційних споруд (головних колекторів, вуличної каналізаційної мережі, внутрішньоквартальної та внутрішньодворової мереж, КНС та напірних трубопроводів), які збирають стічні води та відводять їх на очисні споруди або у водоймища, складає приблизно 51397 км. Через каналізаційні споруди щорічно проходить, очищається та скидається у природні водоймища близько 2000 млн. м³ стічних вод.

Усі каналізаційні споруди будь-якої системи і схеми каналізації за своїм призначенням діляться на дві основні групи:

1. Устаткування і споруди, призначені для прийому і транспортування стічних вод:
 - а) внутрішні каналізаційні пристрої;
 - б) зовнішня каналізаційна мережа;
 - в) насосні станції і напірні каналізаційні трубопроводи.
2. Устаткування і споруди, призначені для очищення стічних вод:
 - а) очисні станції, призначені для очищення, знешкодження, знезараження стічних вод і для обробки осаду;
 - б) випуски очищених вод у водойми.

На кожному етапі постачання питної води та відведення стоків використовується спеціальне обладнання, таке як насоси, резервуари, фільтри, трубопроводи, арматура тощо, технічний стан якого суттєво впливає на ефективність роботи систем.

Системи централізованого водопостачання та водовідведення, збудовані десятки років тому, характеризуються високою енергозатратністю, значними втратами води, моральною та фізичною зношеністю. Знос основних фондів у підгалузі сягає 60,8%. Четверта частина водопровідних очисних споруд і кожна п'ята насосна станція відпрацювали нормативний термін амортизації. Фактично амортизовано і потребує заміни 40% насосних агрегатів.

Із загальної протяжності 33,3% водопровідно-каналізаційних мереж знаходяться в аварійному стані і потребують заміни. Це призводить до значного росту аварій, кількість яких досягла 250 аварій в рік на 100 км трубопроводів, що у 20 разів перевищує відповідний показник у країнах Західної Європи.

Сьогодні питомі витрати матеріальних та енергетичних ресурсів у водопровідно-каналізаційному господарстві в 2-3 рази перевищують аналогічні показники розвинутих країн світу.

Отже, українська водопровідно-каналізаційна система потребує радикального оновлення,

що вимагає окрім іншого, ведення ефективної державної політики з поступового розвитку та забезпечення конкуренції.

Найбільш поширеними заходами щодо підвищення ефективності систем водопостачання та водовідведення у комунальному секторі є наступні:

- Застосування полімерних матеріалів для заміни зношених водопровідних та каналізаційних мереж;

- Регулювання тиску в системах водопостачання;
- Використання частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів;
- Впровадження автоматизованих систем управління процесами водопостачання та водовідведення;
- Утилізація мулового осаду з метою отримання енергії.

2.2. Застосування полімерних матеріалів для заміни зношених водопровідних та каналізаційних мереж

Основною причиною втрат водопровідної води є утворення течій в результаті зношеності магістральних та розподільчих водопровідних мереж. На сьогоднішній день заміни потребує 38% водопровідних мереж (до 69 тис. км) та 37% каналізаційних (до 19 тис. км).

Основною причиною значної зношеності водогонів є використання для цілей водопостачання матеріалів, що піддаються впливу корозії (сталь та чавун), з яких виготовлено майже 94 % всіх мереж водопостачання.

З погіршенням технічного стану водопровідних систем помітно знижується ефективність їх роботи та зростають нераціональні втрати води, витіки. Показник втрат води у міських мережах є надто високим і знаходиться в межах 0,4-3,0 м³/км/год, в порівнянні з показниками у Західній Європі, які становлять 0,1-0,4 м³/км/год. Втрати води у розподільчій мережі коливаються в межах 30-50 % або й більше від загального обсягу поданої у мережу води.

Заміна ветхих сталевих водогонів поліетиленовими трубами

При проектуванні та ремонті водопровідної мережі важливого значення набуває питання раціонального добору матеріалів труб. Варто відзначити, що процеси корозії, заростання, вимивання матеріалу труб, формування біоплівки та осадів можуть протікати переважно в мережі із металевих труб. Це призводить до появи течій та витіку води. Достатньо надійними в експлуатації показали себе поліетиленові труби.

Застосування в системах водопостачання та водовідведення сучасних полімерних (поліетиленових) труб дозволить суттєво скоротити втрати води при транспортуванні, заощадити кошти на видобуток та транспортування води (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Поліетиленові водопровідні труби

Полімерні труби можуть виготовлятися з різних термопластичних матеріалів і їх композицій, таких як: поліетилен (ПЕ), полівінілхлорид (ПВХ), поліпропілен (ПП), поліамід (ПА), полібутилен (ПБ) та ін. Труби, виготовлені з реактопластів, — це склопластикові, скловолоконні і вироблені з епоксидної або поліефірної смоли.

Труби випускаються з поліетилену класів ПЕ 63, ПЕ 80, ПЕ 100 і ПЕ 100 + стандартним розмірним відношенням SDR 41 — SDR 6, номінальними діаметрами від 16 до 1600 мм на основні робочі тиску 4, 6, 8; 10; 12,5; 16; 20 бар. Колір труб — чорний з синіми маркувальними смугами. Труби, що випускаються в прямих відрізках, виробляються довжиною 12 м (або за погодженням із замовником). Труби, діаметром не більше 160 мм можуть виготовлятися в бухтах (барабанах) від 50 до 1000 м. Температура води в режимі нормальної експлуатації — не більше 65 °С.

Виробництво поліетиленових труб є сучасною (перші ПЕ труби були вироблені близько 50-ти років тому) і прогресивною технологією у виробництві полімерних труб. Поліетиленові труби мають відмінні техніко-еконо-

мічні показники безпосередньо пов'язані з низькою собівартістю експлуатації, низькими витратами на установку і тривалим терміном служби, а також можливістю утилізації відпрацьованого трубопроводу.

Для систем водопостачання та водовідведення найчастіше застосовують:

- ПЕ труби напірні для зовнішнього водопостачання, зокрема типу PE-Xa;

- ПЕ труби безнапірні для водовідведення та каналізації;
- Профільовані труби безнапірні для водовідведення та каналізації.

На сьогоднішній день для монтажу поліетиленових труб різного призначення та різних розмірів існує широкий спектр необхідних елементів (арматури, фітингів тощо), а також різноманітне монтажне обладнання та устаткування (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Елементи поліетиленових трубопроводів

До 110 діаметра включно поліетиленові труби можуть з'єднуватися за допомогою механічних (компресійних) фітингів. Поліетиленові труби великих діаметрів з'єднуються переважно зварюванням встик, або за допомогою терморезисторних фітингів, що в свою чергу вимагає спеціального зварювального устаткування (рис. 2.3). Таке з'єднання є монолітним і вважається найбільш надійним, тому що не має гумових ущільнювальних кілець, термін служби яких обмежений.

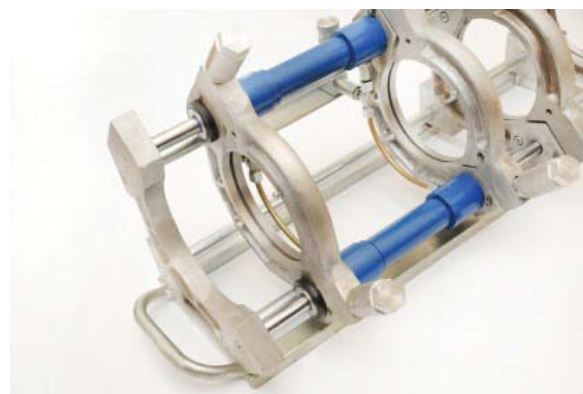
Заміна існуючих старих водопровідних труб на сучасні, виготовлені з полімерних матеріалів, дозволить не тільки суттєво скоротити втрати води при транспортуванні, а й заощадити на скороченні витрат при добуванні, підготовці та транспортуванні води (в наслідок зменшення обсягів води).

Економія складатиметься зі скорочення витрат:

- пов'язаних з технологічними процесами добування та підготовки води;
- електроенергії, яка витрачається на перекачку води системами водопостачання та водовідведення;
- пов'язаних з експлуатацією та ремонтом магістральних та розподільчих водопровідних мереж.



а)



б)

Рис. 2.3. З'єднання поліетиленових труб за допомогою з'єднувального муфти (а) або при застосуванні зварювального апарату (б)

Таким чином, основними перевагами застосування поліетиленових труб перед металевими є наступні:

Довговічність. Гарантований термін експлуатації поліетиленових трубопроводів складає 50 років.

Корозійна стійкість. Фізичні та хімічні властивості поліетилену гарантують прекрасну герметичність і високу стабільність під впливом агресивних речовин, що знаходяться в ґрунті і в середовищі, що транспортується, протягом усього терміну експлуатації (рис. 2.4). Поліетиленові трубопроводи не піддаються заростанню внутрішньої поверхні продуктами корозії і карбонатними відкладеннями. В результаті заростання внутрішньої поверхні, в залежності від групи води, пропускна здатність металевих труб знижується через п'ять років експлуатації на 10-48 %, через десять років – на 14-57 %, через 20 років - 20-68 %.

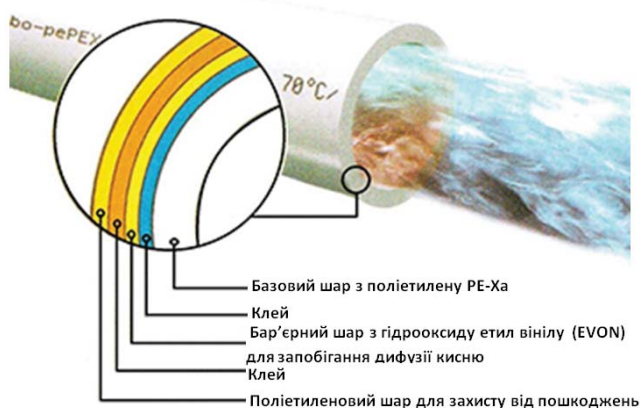


Рис. 2.4 Багатшарова конструкція поліетиленових труб

Опірність блукаючим струмам. Поліетиленові трубопроводи не схильні до дії блукаючих струмів, коли в свою чергу металеві трубопроводи схильні до корозії від них. Поліетилен володіє хорошими електроізоляційними властивостями.

Швидкість і економічність монтажу. Для зварювання поліетиленових труб не потрібна важка техніка. Зварювати труби може бригада з 1-2 чоловік (рис. 2.5). Значно нижче споживання електроенергії або палива в порівнянні зі зварюванням сталевих труб. А застосування так званих «довгомірних труб» (на котушках або в бухтах) знижує кількість зварних з'єднань в 50-100 раз. Все це значно прискорює прокладання поліетиленових трубопроводів і знижує вартість монтажу. Крім того, труби з поліетилену легше сталевих в 2-4 рази і тому переміщення при монтажі не вимагають вантажопідйомних механізмів. Один транспортний засіб перевозить в 2-4 рази більше поліетиленових труб, ніж сталевих.

Еластичність. Гнучкість поліетиленових труб спрощує будівництво і дозволяє відмовитися від покупки відводів. Поліетиленові труби мають підвищену стійкість до гідравлічних ударів при нормальному ущільненні ґрунту.

Підвищена пропускна здатність. Збільшення пропускної здатності поліетиленових труб наростає з часом з двох причин. По перше, діаметр поліетиленових труб збільшується в процесі експлуатації без втрати працездатності за рахунок характерного для поліетилену явища повзучості. Це збільшення складає 1,5 % за перші десять років і 3 % за весь строк служби трубопроводу. По-друге, внутрішня поверхня поліетиленової труби з часом стає більш м'якою і гладкою, внаслідок набрякання граничного шару полімеру і виникнення специфічного поверхневого ефекту еластичності, який покращує умови обтікання стінки труби і знижує опір руху. Гладкість полімерних труб на 30% вище, ніж сталевих, завдяки чому відбувається зниження втрат тиску в трубах. Це дає можливість використовувати поліетиленовий трубопровід діаметром на один сортамент менше порівняно зі сталевим, що природно веде до економії коштів при укладанні трубопроводу.



Рис. 2.5 Монтаж поліетиленових трубопроводів та арматури

Економія на ізоляції. Для прокладки підземних трубопроводів для води зі сталевих труб потрібна внутрішня і зовнішня ізоляція, остання виконується полімерними плівками або бітумною мастикою. При виборі матеріалу для прокладки трубопроводу слід врахувати, що вартість поліетиленової труби нижче ізольованою сталевий труби.

Безпека. Труби для господарсько-питного водопостачання виготовляють з поліетилену марок, дозволених органами охорони здоров'я за ГОСТ 18599-2001 «Труби напірні з поліетилену. Технічні умови. Міждержавний стандарт». Поліетиленові водопроводи токсигологічно та бактеріологічно безпечні, їх внутрішній шар не виділяє у воду ніяких шкідливих домішок.

Шум. Поліетиленові труби «малозумні», вони глушать звук протікання води, що не властиво для металевих трубопроводів.

Конденсація. На зовнішній поверхні поліетиленових трубопроводів холодної води практично не спостерігається явище конденсації вологи.

тично не спостерігається явище конденсації вологи.

Температурний інтервал. Температурний інтервал експлуатації поліетиленових трубопроводів від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. При замерзанні рідини в порожнині трубопроводу труби не руйнуються, а збільшуються в діаметрі, набуваючи колишній розмір при відтаванні.

Отже, такі основні якості як довговічність, економічність, скорочення часу будівництва, стійкість до агресивних середовищ, еластичність матеріалу та безпека все частіше змушують робити вибір на користь саме поліетиленових труб при будівництві та модернізації трубопроводів систем водопостачання та водовідведення.

Разом з зазначеними перевагами поліетиленові труби також мають свої недоліки (таблиця 2.1), які здебільшого обумовлені властивостями матеріалу, з якого вони виготовляються.

Таблиця 2.1

Переваги та недоліки поліетиленових труб

Переваги поліетиленових труб	Недоліки поліетиленових труб
<ul style="list-style-type: none"> • корозійна стійкість; • відсутність наросту на стінках труб; • хімічна нейтральність; • довговічність – термін служби в робочих умовах експлуатації перевищує 50 років; гарантія – 10 років; • морозостійкість; • надійність в умовах підвищеної сейсмічності; • шумопоглинаюча здатність; • зручність транспортування; • технологічність – труби легко гнуться вручну; • монтаж, без калібрування, без маркування; • стикування з трубами і приладами, виготовленими із сталі, латуні, бронзи і пластмас; • ті ж самі фітинги застосовуються для системи водопостачання; • не вимагають фарбування; • малогабаритний набір інструментів. 	<ul style="list-style-type: none"> • розтріскування під напругою; • старіння під дією світла; • старіння під дією тепла; • дифузія вуглеводнів; • схильність до механічних пошкоджень у вигляді зазубрин, виїмок, подряпин у процесі зберігання, транспортування або укладання; • обмежена придатність в умовах внутрішнього і зовнішнього тиску, ваги труби, ваги матеріалу, що транспортується, навантаження ґрунтового покриття над трубою та інших навантажень, включаючи навантаження трафіку; • вплив навантаження, пов'язаного з порушенням технологій засипання і ущільнення; • відносний малий опір повільному розповсюдженню розтріскування внаслідок неправильного укладання труб. Мінімальна міцність поліетилену типу ПЕ 63, ПЕ 80 і ПЕ 100 залежно від маркування матеріалу становить 6, 8 і 10 Н/мм² відповідно. Мінімальна міцність сталі на розтягування перевищує 360 Н/мм²; • відсутність властивостей міцності до розтягування, механічних властивостей матеріалів, які містять залізо, не стійкі до тепла, поглинають запахи. Придатність для застосування в трубопроводах з високим внутрішнім і зовнішнім тиском є досить обмеженою; • у поліетиленових трубопроводах водопостачання при коливаннях температури води може відбуватися значна (в порівнянні з трубопроводами з інших матеріалів) лінійна деформація. Наприклад, при зміні температури рідини, що транспортується, на 20 градусів подовження в незакріпленому поліетиленовому трубопроводі може становити близько 4 м на 1 км труби.

Протягом останніх 5 років в Україні сталися значні зрушення у підготовці та введенні в дію нормативних документів і стандартів із виробництва та застосування полімерних труб при прокладанні нових і реконструкції старих інженерних мереж.

Сьогодні на українському ринку представлений величезний асортимент труб і фітінгів, виготовлених з полімерних матеріалів, як відомих торгових марок зарубіжних компаній, так і вітчизняних виробників, серед яких:

- Компанія «Ельпласт» (м. Городок, Львівська обл.);
- ТОВ «Калуський трубний завод» (КАТЗ), яке є дочірнім підприємством Групи Радіус Системз (Radius Systems Ltd), лідера британського ринку полімерних трубопровідних систем і одного з найбіль-

ших виробників пластикових труб і з'єднувальної арматури в Європі (м. Калуш, Івано-Франківська обл.);

- Компанія «Укрполімерконструкція» (смт. Баришівка Київська обл.);
- Компанія «ТерПолімерГаз» (м. Тернопіль).

Вартість поліетиленових трубопроводів, а також елементів та арматури для їх монтажу залежить від класу поліетилену (ПЕ 63, ПЕ 80, ПЕ 100 і ПЕ 100 +), стандартного розмірного відношення (SDR 41 — SDR 6), номінального діаметру (від 16 до 1600 мм) та робочого тиску (від 4 до 20 бар).

Приклади вартості поліетиленових труб виробництва ТОВ «Рубіжанський трубний завод» та ТОВ «Калуський трубний завод», виготовлених за ДСТУ Б В.2.7- 151: 2008 наведені в таблиці 2.2 (інформація за червень 2015 р.).

Таблиця 2.2

Приклади вартості поліетиленових труб

Діаметр труб, мм	ПЕ 100 SDR 26 (0,63 МПа)		ПЕ 100 SDR 17 (1,0 МПа)		ПЕ 100 SDR 11 (1,6 МПа)	
	Товщина стінки, мм	Ціна з ПДВ, грн./м.п.	Товщина стінки, мм	Ціна з ПДВ, грн./м.п.	Товщина стінки, мм	Ціна з ПДВ, грн./м.п.
110	-	-	6,6	144,72	10,0	210,38
160	6,2	203,01	9,5	302,17	14,6	446,89
250	9,6	488,43	14,8	737,0	22,7	1085,4
400	15,3	1246,2	23,7	1876,0	36,3	2773,8
500	19,1	2001,0	29,7	3029,1	45,4	4464,3
800	30,6	7560,0	47,4	11450,0	72,6	17060,1
1000	38,2	11810,0	59,3	19840,0	90,8	25900,0
1600	61,2	29880,4	94,8	44800,0	-	-

Більш детальна інформація щодо вартості поліетиленових труб для систем водопостачання та водовідведення та їх фасонних деталей наведена на Інтернет сайтах компаній виробників, а також продавців трубопровідної продукції.

Заміна існуючих ветхих магістральних та розподільчих водопровідних мереж на сучасні, виготовлені з полімерних матеріалів, дозволить не тільки суттєво скоротити втрати води при транспортуванні, а й заощадити на скороченні витрат при добуванні, підготовці та транспортуванні.

Застосування полімерних труб забезпечує збільшення терміну служби водопровідно-каналізаційних трубопроводів, зниження аварійних витоків і покращення якості води, що подається. Скорочення витрат води при вико-

ристанні поліетиленових труб призведе до скорочення матеріально-фінансових витрат на добування та очищення води, а також до скорочення витрат електроенергії на транспортування надлишкової кількості води.

Таким чином, застосування сучасних магістральних та розподільчих водопровідних мереж виготовлених з поліетилену має комплексний ефект, який полягає у скороченні витрат води, що в свою чергу вплине на скорочення необхідних затрат на добування, очищення та перекачку води.

Крім цього, скорочення витрат води у водопровідних мережах також вплине на скорочення витрат на перекачку та очищення каналізаційних стоків.

Додаткового ефекту також можна досягти шляхом якісного ремонту або впровадження сучасної запірної арматури, на якій по причині нещільностей також може втрачатися до 10 % води, що перекачується.

Внутрішня санація ветхих водопровідних мереж

Санація це безтраншейний спосіб ремонту трубопроводу діаметром від 50 до 800 мм, що отримав всевітнє визнання.

Санація дозволяє ефективно вирішити наступні проблеми:

- зниження пропускної здатності водопроводу через відкладення на стінках;
- витік води в результаті корозії;
- руйнування довговічних сталевих трубопроводів;
- руйнування каналізаційних мереж, що вичерпали термін служби;
- руйнування локальних відгалужень трубопроводів кореневими системами дерев;
- тріщини і засмічення трубопроводів.

Найчастіше застосовується два способи санації трубопроводів – з руйнуванням і без руйнування старої труби (труба в трубі).

При санації методом «труба в трубі без руйнування» (релайнінг) проводиться ремонт існуючих пошкоджених труб шляхом протягування в них поліетиленових труб. Попередньо стара труба очищається від корозійних відкладень (рис. 2.6).



Рис. 2.6 Санація старого металевого трубопроводу



Рис. 2.7 Санація з руйнуванням старого металевого трубопроводу

Ця технологія може застосовуватися до всіх стандартних трубопроводів, при цьому діаметр старого трубопроводу повинен бути на 10-15% більше. Зменшення діаметра труби, що виникає при цьому компенсується за рахунок кращих гідравлічних параметрів нової труби. Гладка внутрішня поверхня поліетиленової труби значно скорочує опір протягом тривалого часу і підвищує гідравлічну пропускну спроможність трубопроводу. Крім того, новий трубопровід має підвищену корозійну стійкість.

У разі якщо проведення санації способом «труба в трубі» не дозволить створити потрібного напору на ділянці трубопроводу, яка ремонтується, або потрібне збільшення діаметра на ремонтovanій ділянці, застосовується санація з руйнуванням старої труби (реновація). Проведення санації в таких випадках здійснюється статичним виламуванням старого трубопроводу. Цей спосіб відмінно зарекомендував себе при роботі в складних гідрогеологічних умовах, при безпосередній близькості від ремонтovanой ділянки інших комунікацій і будівель.

Санація, на відміну від більш дорогих і менш ефективних традиційних відкритих траншейних методів заміни труб, дозволяє:

- використовувати існуючий канал комунікацій;
- знизити ризик пошкодження сусідніх комунікацій;
- зменшити громадські витрати й виключити порушення дорожнього руху;
- зменшити витрати на земляні та відновлювальні роботи;
- зменшити витрату часу на заміну труб;
- не завдавати забруднення довкіллю.



Рис. 2.8 Полімерний рукав або «панчоха»

Одним з найпоширеніших безтраншейних методів санації трубопроводів є протягування в порожнину існуючої труби полімерного ру-

кава або «панчохи». Також такий спосіб безтраншейного ремонту та заміни трубопроводів називають «метод протягування», «санація склопластиковим рукавом» або «санація смолою». Залежно від специфіки конкретного трубопроводу використовують різні модифікації цього методу, із застосуванням армованих скловолоконних рукавів або укріплених епоксидною смолою.

Суть методу полягає в проштовхуванні в трубу, яка санується полімерного рукава. Рукав, виконаний з композитних матеріалів, згодом заповнюється гарячою парою і набуває форми трубопроводу, що ремонтується. Після охолодження і затвердіння утворюється нова труба, що має високу міцність, вона здатна взяти на себе всі функції і навантаження старого трубопроводу (рис. 2.9).



Рис. 2.9 Санація трубопроводу полімерним рукавом

Санація відрізняється високою економічністю – ремонт за допомогою зазначеної технології обходиться в 2-3 рази дешевше і здійснюється в 5-10 разів швидше, ніж будівництво нового трубопроводу.

Переваги застосування методу санації трубопроводів, а також особливості застосування наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Переваги та особливості санації трубопроводів

Переваги санації полімерним рукавом (панчохою)	Обмеження методу санації полімерним рукавом
<ol style="list-style-type: none"> 1. Не потрібні земляні роботи; 2. Не потрібен розтин старого трубопроводу; 3. Відсутній кільцевий простір між полімерним рукавом і стінками труби, яка санується; 4. Метод може застосовуватися для санації як напірних, так і безнапірних трубопроводів 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Застосовується для санації труб великого діаметру; 2. Вимагає попередньої телеінспекції та очищення трубопроводу; 3. Під час санації трубопровід не використовується

Вартість санації трубопроводу залежить від обсягу робіт, які виконуватимуться (довжина ділянки, діаметр трубопроводу), а також методу за яким виконуватимуться роботи.

Безтраншейна санація і заміна труб, ремонт зношених трубопроводів питної води та каналізації дозволяє знизити витрати на проведення робіт мінімум на 50%. Відсутність необхідності розкриття ґрунту, мінімальний обсяг земляних робіт дозволяють значно економити. Крім того, не потрібно відновлювати пошкоджене асфальтне покриття і порушувати рух

транспорту і людей. Середня вартість санації трубопроводів різними методами та склад робіт наведені в таблиці 2.4.

В Україні послуги з санації трубопроводів різними методами зокрема надають такі компанії:

- ПрАТ «Центр трубоізоляція», м. Київ;
- ТОВ «МЕГАЛІОН ГРУП», м. Київ;
- ТОВ «АВТО-М», м. Запоріжжя;
- ТОВ «Вік Технології», м. Миколаїв.

Таким чином, санація трубопроводних мереж систем водопостачання та водовідведення дозволяє не тільки проводити заходи щодо запобіганню втрат води при її транспортуванні, а й значно скороти витрати на проведення реконструкції мереж.

Використання полімерних матеріалів в системах водопостачання та водовідведення шляхом прокладання нових поліетиленових труб, або санації старих труб є сучасною технологією, яка спрямована на скорочення енерго- та ресурсозбереження.

Таблиця 2.4

Середня вартість санації трубопроводів різними методами та склад робіт

Метод санації	Розмір трубопроводу	Вартість робіт	Склад робіт
Санація методом «панчохи» За допомогою протяжки полімерного рукава в ремонтвану трубу	Діаметр 600 мм	від 550 дол. США за 1 м п.	Вартість залежить від діаметра старої труби, протяжності ділянки трубопроводу, що потребує ремонту, типу полімерного рукава (матеріал, виробник), додаткових складнощів і перешкод, обсягу земляних робіт (у випадку, якщо немає технічних колодязів для доступу). У вартість не входять транспортні витрати, очистка труби механічним або гідродинамічним способом, телеінспекція труби. Після закінчення робіт діаметр труби залишиться практично незмінним (зміна в межах 10 - 15 мм). Термін подальшої експлуатації трубопроводу 50-70 років.
Протягання нової пластикової труби у існуючу стару	Діаметр 600 мм	від 750 дол. США за 1 м п.	Вартість залежить від діаметра старої труби, протяжності ділянки трубопроводу, що потребує ремонту, наявності або відсутності доступу через колодязь, робіт з заповнення кільцевого простору між старою і новою трубою. У вартість не входять транспортні витрати, очистка труби, телеінспекція труби. Після закінчення робіт діаметр труби зменшиться на 15-20 %, тому можливість ремонту труб таким способом, необхідно прораховувати за участю фахівців. Термін подальшої експлуатації трубопроводу в середньому 50 років.
Довготрубний релайнінг За допомогою протяжки склопластикової труби в ремонтвану трубу	Діаметр 600 мм	від 930 дол. США за 1 м п.	Протягування в стару трубу поліетиленової труби, як правило, дешевше. Різниця пов'язана з вартістю матеріалів.
Нанесення цементно-піщаного покриття (ЦПП)	Діаметр 600 мм	від 400 дол. США за 1 м п.	Найчастіше використовується для санації застарілих каналізаційних труб. У вартість не входять транспортні витрати, очистка труби, телеінспекція труби. Після закінчення робіт діаметр труби залишиться практично незмінним. Термін подальшої експлуатації трубопроводу в середньому 20-25 років.

2.3. Використання частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів

У загальному енергоспоживанні в системах водопостачання та каналізації населених пунктів і виробничих об'єктів більше 90% складають насосні системи для природних, питних, виробничих і стічних вод, а також для подачі реагентів та повітря. Тому впровадження енергозберігаючих насосів та енергозберігаючого обладнання на насосних станціях є найбільш ефективним заходом з енергозбереження. Як правило, на сьогоднішній день, автоматика на насосних станціях зводиться до релейно-контакторної схеми. Сучасні технології в сфері автоматизації, дозволяють істотно знизити експлуатаційні витрати і підняти загальний рівень енергоефективності насосних станцій шляхом впровадження автоматичних систем управління на базі частотного регулювання (рис. 2.10).

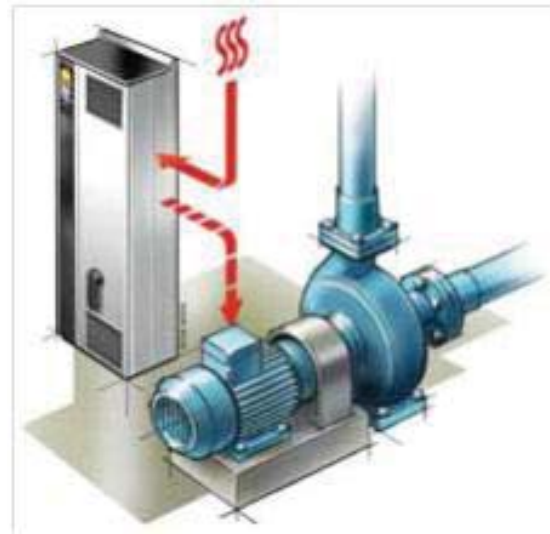


Рис. 2.10 Насосна установка з перетворювачем частоти

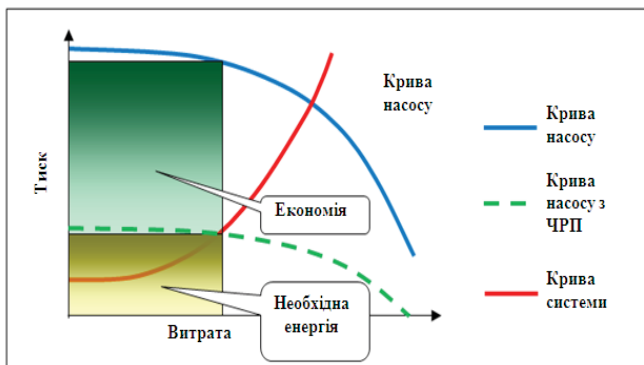


Рис. 2.11 Ефект при застосуванні насосу з перетворювачем частоти

Традиційним способом регулювання подачі насосних установок є дроселювання та зміна кількості працюючих агрегатів. Зазначені способи регулювання не враховують енергетичні аспекти транспортування води. Традиційне регулювання призводить до підвищення тиску в мережі, перевитрат електроенергії, збільшення витоків та невиробничих витрат води, підвищеного зношування устаткування. Найбільш ефективним способом регулювання режиму роботи насосних установок є кількісний, тобто, зміною подачі за допомогою регульованого електроприводу (рис. 2.11). Розвиток перетворювальної техніки дозволив більш широко використовувати перетворювачі частоти для створення регульованого електроприводу в насосних установках.

Установка на насосну станцію водопостачання автоматизованої системи управління (АСУ) на базі частотно-регульованого приводу дозволить:

- керувати насосною станцією як в ручному режимі так і в автоматичному;
- значно економити електроенергію (від 30% до 50%);
- автоматизувати процес підтримки заданого тиску або витрати в системі водопостачання;
- забезпечити плавний пуск насосного агрегату (виключити гідравлічні удари) і зменшити навантаження на гідравлічне обладнання, проблеми з яким часто призводять до поривів в системі трубопроводів;
- стабілізувати тиск води і зменшити витoki води;
- системи автоматики забезпечать комплексний захист електродвигуна і насоса;
- контролювати напругу живлення і відновлювати роботу після збоїв живлення;
- автоматизувати розподіл навантаження між насосами для забезпечення максимальної ефективності;
- перемикаєти з насоса на насос для забезпечення їх однакової роботи на навантаження;
- діагностувати і давати інструкцію несправностей на насосній станції.

Частотно-регульований електропривід, в загальних рисах складається з трифазного

електродвигуна змінного струму і інвертора, який забезпечує, як мінімум, плавний пуск електродвигуна, його зупинку, зміну швидкості і напрямку обертання. Можливість подібного регулювання покращує динаміку роботи електродвигуна і, тим самим, підвищує надійність і довговічність роботи технологічного обладнання. Більше того, інвертор дозволяє впровадити автоматизацію практично будь-якого технологічного процесу. При цьому створюється система зі зворотним зв'язком, де інвертор автоматично змінює швидкість обертання електродвигуна таким чином, щоб підтримувати на заданому рівні різні параметри системи, наприклад, тиск, витрата, температура, рівень рідини та ін. За рахунок оптимального управління електродвигуном залежно від навантаження, споживання електроенергії в насосних, вентиляторних, компресорних (роторного типу і відцентрових з антипомпажним пристроєм) та ін. агрегатах знижується на 40-50%, а пускові струми, що становлять 600-700% від номінального струму і є бичем для пуско-регулюючої апаратури, зникають зовсім. Таким чином, застосування регульованих електроприводів на основі частотних перетворювачів дозволяє створити нову технологію енергозбереження, в якій не тільки економиться електрична енергія, а й збільшується термін служби електродвигунів і технологічного обладнання в цілому.

Поява регульованого електроприводу дозволила підтримувати постійний тиск безпосередньо у споживача (рис. 2.12). Широке застосування у світовій практиці отримав частотно-регульований електропривід з асинхронним електродвигуном загальнопромислового призначення. В результаті адаптації загальнопромислових асинхронних двигунів до їх умов експлуатації в керованих електроприводах створюються спеціальні регульовані асинхронні двигуни з більш високими енергетичними, масогабаритними та вартісними показниками в порівнянні з неадаптованими. Частотне регулювання швидкості обертання валу асинхронного двигуна здійснюється за допомогою електронного пристрою, який прийнято називати частотним перетворювачем. Вищевказаний ефект досягається шляхом зміни частоти і амплітуди трифазного напруги, що надходить на електродвигун. Таким чином, змінюючи параметри живлячої напруги (частотне управління), можна робити швидкість обертання двигуна як нижче, так і вище номінальної. У другій зоні (частота вище номінальної) максимальний момент на валу обернено пропорційний швидкості обертання.

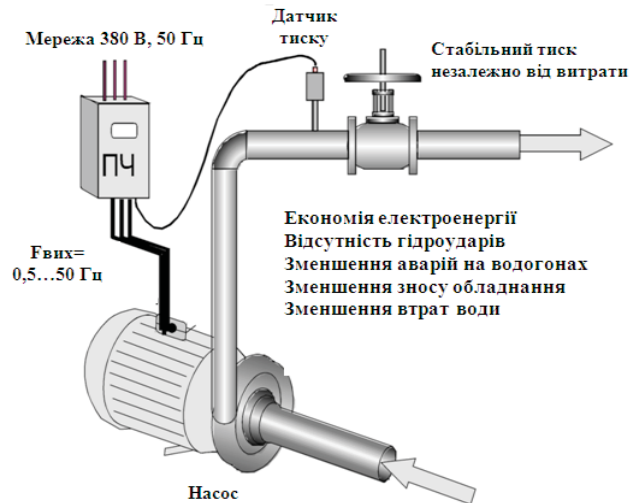


Рис. 2.12 Принципова схема включення перетворювача частоти до насосної установки

Сучасний перетворювач частоти має компактне виконання, пило-та вологозахисний корпус, зручний інтерфейс, що дозволяє застосовувати його в найскладніших умовах і проблемних середовищах (рис. 2.13). Діапазон потужності досить широкий і становить від 0,18 до 630 кВт і більше при стандартному живленні 220/380 В і 50-60 Гц. Практика показує, що застосування частотних перетворювачів на насосних станціях дозволяє економити електроенергію (при істотних змінах витрати), регулюючи потужність електроприводу залежно від реального водоспоживання (ефект економії 20-50%).



Рис. 2.13 Зовнішній вигляд перетворювача частоти

При впровадженні перетворювачів частоти на насосних станціях систем водопостачання досягається комплексний ефект, який полягає у:

- Зміні режиму експлуатації трубопроводів;
- Зміні режиму експлуатації електро-двигунів;
- Економії споживаної електроенергії;
- Зниження споживання води.

Застосування перетворювачів частоти на насосних станціях забезпечує постійний необхідний тиск на виході станції не залежно від тиску в подавальному трубопроводі і водорозборі з боку споживача (рис. 2.14). Виключається фактор надлишкового тиску в трубах і як наслідок – пориви труб і витік. Економічний ефект досягається за рахунок продовження терміну служби трубопроводів і скорочення обсягу ремонтних робіт.

Установка перетворювачів частоти призводить до більш плавного режиму роботи двигуна і насоса в цілому. Це досягається шляхом налаштування перетворювачів частоти на кожен двигун індивідуально в автоматичному режимі, плавним пуском та зупиненням, а також шляхом налаштування оптимального вихідного тиску води. Застосування такого обладнання сприяє зниженню нагрівання двигуна на 30% і зменшення шуму (зниження биття), що позитивно позначається на суттєве збільшення терміну служби електродвигуна.

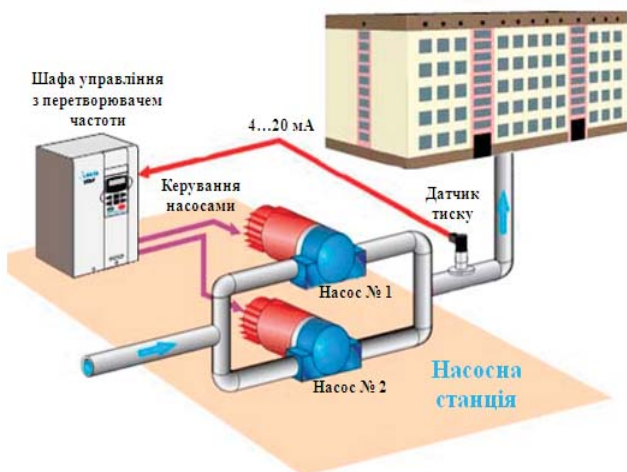


Рис. 2.14 Насосна станція з перетворювачем частоти

Економічний ефект досягається за рахунок продовження терміну служби електродвигунів і скорочення обсягу ремонтних робіт. Економія споживаної електроенергії досягається за рахунок застосування зворотного зв'язку по тиску на виході насоса і забезпечення необхідного числа обертів двигуна для підтримки заданого тиску в трубопроводі. Крім цього, при введенні в експлуатацію перетворювачів

частоти зменшується споживання води в середньому на 10...15%.

При прийнятті рішення про доцільність впровадження перетворювачів частоти слід враховувати, що, крім економічного ефекту від економії електроенергії, застосування перетворювача частоти, додатково забезпечує наступне:

- знижується знос запірної арматури, тому що більшу частину часу засувки повністю відкриті;
- більшу частину часу насоси працюють при знижених тисках, що знижує витoki в системі водопостачання;
- знижується знос комутаційної апаратури, тому її перемикання відбуваються при відсутності струму;
- знижується знос підшипників двигуна і насоса, а так само крильчатки за рахунок плавної зміни числа обертів, відсутності великих пускових струмів;
- зменшується небезпека аварій за рахунок виключення гідравлічних ударів;
- забезпечується одночасний захист двигуна від короткого замикання, замикання на землю, струмів перевантаження, неповнофазного режиму, неприпустимих перенапруг;
- знижується рівень шуму, що особливо важливо при розташуванні насосів поблизу житлових або службових приміщень;
- спрощується подальша комплексна автоматизація об'єктів системи водопостачання.

На сьогоднішній день на ринку частотно-регульованих приводів є дуже багато компаній, які пропонують подібне обладнання, серед яких ABB, Wika, Array Electronic, Wilo, SPERONI, Delta, AuCom, Sprint Electric, Delta Electronics, Invertek Drives, Danfoss, Hyundai, Schneider Electric, LS Industrial Systems, Bosch Rexroth EFC та багато інших.

Вартість перетворювачів частоти залежить в першу чергу від його характеристик (потужність, струм, напруга, кількість фаз тощо).

Приклади вартості перетворювачів частоти компаній LSIS та Bosch Rexroth EFC наведені в таблиці 2.5.



Перетворювачі частоти компаній LSIS та Bosch Rexroth EFC



Таблиця 2.5

Приклади вартості перетворювачів частоти

Параметр	Виробник													
	LS Industrial Systems							Bosch Rexroth EFC						
Потужність, кВт	0,4	0,75	1,5	2,2	5,5	11	18,5	0,4	0,75	1,5	2,2	5,5	11	18,5
Кількість фаз	1-фазний				3-фазний			1-фазний				3-фазний		
Частота, Гц	50/60							50/60						
Струм, А	2,3	3,9	7,0	9,7	12,7	24,3	39,2	2,3	3,9	7,0	9,7	12,7	24,3	39,2
Напруга, В	200-240				380-480			200-240				380-480		
Вартість, дол. США	177	201	248	291	784	1176	1864	168	200	255	282	480	748	1152

Сучасні перетворювачі частоти виготовляються з різними технічними показниками та різною комплектацією. На ринок України компанію LS Industrial Systems (Півд. Корея) постачаються перетворювачі частоти потужністю від 0,4 кВт до 450 кВт, вартість яких коливається в середньому від 200 дол. США (компактні однофазні перетворювачі) до майже 40 тис. дол. США (перетворювач частоти промислового виконання для насосів, вентиляторів та іншого силового обладнання).

Практика застосування частотних перетворювачів доводить доцільність не просто включення перетворювача для управління агрегатом, а створення спеціалізованих систем управління технологічним процесом. І саме такий підхід дозволяє отримати економічний ефект не тільки

від зниження споживаної з мережі електроенергії, але і домогтися істотного зменшення експлуатаційних витрат (на технічне обслуговування обладнання, ремонти), поліпшення умов праці, скорочення і оптимізації робочого часу обслуговуючого персоналу та збільшення терміну служби обладнання. Також отримати технологічний ефект від підвищення якості продукції та послуг, зручності обслуговування. Перетворювачі частоти дозволяють отримувати велику кількість параметрів стану електроприводу. Відповідна обробка цих параметрів дозволяє проводити глибоке діагностування як обладнання системи, так і протікаючих процесів. З'являється можливість не тільки реагувати на виниклу аварію, але і попереджати її, що значно важливіше.

2.4 Регулювання тиску в мережі водопостачання

Основною причиною втрат води в житловому фонді є витoki через незадовільні технічні характеристики санітарно-технічної арматури, недоліки в організації технічної експлуатації водорозбірних і водозапірних приладів, а також внаслідок підвищених напорів. Підвищені напори виникають при збільшенні протяжності водопровідних мереж і коливання водоспоживання протягом доби. Збільшення витоків води при підвищенні напорів характерно, зокрема, для змивних бачків в нічні години. Витoki води в будівлях можуть бути викликані зношенням елементів водозапірної арматури або перевищенням напору його розрахункових значень. Як правило, водопостачання забезпечується одним насосним агрегатом, обраним за максимальним напором і продуктивністю (найбільш поширений випадок). При величинах водорозбору менших максимальної цей насос буде створювати надмірний тиск в системі.

Цей небезпечний для системи трубопроводів тиск може в кілька разів перевищувати необхідний напір.

Для боротьби з цим явищем найбільш поширений метод дросельного регулювання, при якому надлишковий тиск зменшується на вихідний засувці з насосної станції. При її прикритті створюється додатковий опір току води. Характеристика системи при цьому змінюється таким чином, щоб необхідний напір на виході насосної станції при такій величині водорозбору відповідав характеристиці насоса.

Досить розповсюдженим методом регулювання тиску є застосування регуляторів (редукторів) тиску, які стабілізують і зменшують тиск у водопровідній мережі, захищаючи тим самим від високого тиску і гідроудару як сам трубопровід, так і підключене до нього побутове обладнання. Редуктор тиску являє собою компактний пристрій в герметичному металевому корпусі.

вому корпусі, що має два різьбових отвори на вході і виході. Іноді для зручності підключають манометр і гвинт для регулювання тиску. Регу-

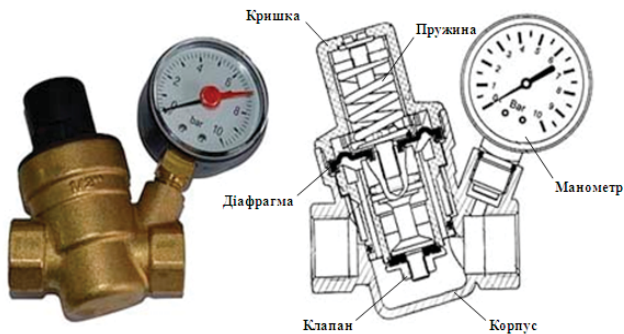


Рис. 2.15 – Побутовий регулятор тиску

лятори тиску випускаються як для побутового застосування (рис. 2.15), так і для промислового (рис. 2.16).



Рис. 2.16 – Промислові регулятори тиску

Робота як побутового так і промислового регулятора тиску побудована на принципі вирівнювання зусиль діафрагми і пружини, що настроюється. При відкритті крану у водопроводі вихідний тиск регулятора зменшується, що призводить до зниження тиску на діафрагму. Зусилля пружини при цьому виявляється більшим і, вирівнюючи його, вона одночасно відкриває робочий клапан до тих пір, поки робочий тиск на виході не стане рівним заданому значенню. При цьому тиск на вході регулятора, а також його перепади ніяк не впливають на відкриття або закриття клапана. Встановлений на вхідну трубу регулятор тиску знижує до потрібного рівня і стабілізує тиск у всій системі водопроводу будинку або квартири.

Регулятори рекомендується розміщувати на вводах в будинки або групу будинків однакового поверху висотою до 30 м включно. Регулятори прості і надійні в експлуатації та забезпечують зниження напорів до будь-яких потрібних значень.

Крім цього, регулятори тиску доцільно розміщувати при наявності нефіксованих відборів води у системах водопостачання (як правило, це можуть бути промислові підприємства, або заклади з великими водозаборами, наприклад, для заповнення резервуарів), які забезпечують стабільні витрати води незалежно від тиску в системі водопостачання. Якщо регулятор тиску забезпечує постійну величину відбору води, то такий відбір перестає бути нефіксованим.

Основним ефектом від впровадження регуляторів тиску є скорочення витрат води в трубопроводі, а також витрат води у споживачів. Також дуже важливо встановлення гідравлічних режимів у водопровідних мережах, що забезпечують їх безаварійну експлуатацію.

Крім дросельного регулювання та впровадження регуляторів тиску досить розповсюдженим методом регулювання тиску у системах водопостачання є застосування підкачувальних насосів, які встановлюють разом з основними насосами. Такі насоси включаються у роботу при зменшенні тиску в системі (збільшення витрат) або відключаються при збільшенні тиску в системі водопостачання (зменшення витрат).

Також, досить дієвим при регулюванні тиску води в системах водопостачання, є спосіб зонування систем водопостачання з підтриманням різних рівнів тиску в зонах. Це дозволяє уникнути встановлення насосів з надлишковою потужністю та утворення надлишкового тиску в системі.

Зонування особливо актуально в умовах міської забудови, де часто існують окремі будівлі, які підносяться над основним масивом будівель. Системи водопостачання цих будівель приєднуються до існуючих квартальних систем, а в багатоповерхових будівлях встановлюють підвищувальні насоси з тиском, виходячи з розрахунку обслуговування мікрорайону з поверховістю найбільш високої будівлі.

Однак, такі традиційні методи регулювання є дуже затратним (енергетично), так як гіршими є регульовальні характеристики насоса, нижчий ККД і вищі енергетичні втрати. Але такі системи недорогі і застосовуються при використанні насосів малої потужності, а також тих, що мають малий час роботи і тривалий час простою.

Недоліком традиційних підходів до управління витратами є те, що жоден з них безпосередньо не впливає на споживання електроенергії. У деяких з цих підходів існують можливості для зменшення споживання енергії, але жоден з них не є

настільки ж ефективним в сенсі енергозбереження, як застосування частотного регулювання швидкості обертання, оскільки, незважаючи ні на що, двигун продовжує працювати з повним навантаженням. До того ж регулювання включенням/виключенням (при впровадженні підкачувальних насосів та відсутності установок плавного пуску) призводить до високих механічних навантажень і стрибкам тиску, пов'язаними із багаторазовими пусками і зупинками, і стрибками споживання електроенергії при пусках двигуна без частотного регулювання.

Найбільш ефективним та економічним регулюванням тиску в системах водопостачання є так зване частотне регулювання, при якому застосовується частотно-регульований електропривід насоса (Рис. 2.17).

Пристрій частотного регулювання забезпечує підтримку такої швидкості обертання ротору насоса, якої достатньо для створення необхідного напору при існуючій величині водорозбору. При цьому змінюється не характеристика системи водопостачання, а продуктивність насосного агрегату. Крім цього, частотне регулювання швидкості обертання ротора двигуна насоса може забезпечити енергозбереження до 20...30%. Більш раціональне і ефективне управління насосами за допомогою частотних перетворювачів досягається шляхом подачі на двигун необхідної кількості електроенергії для створення і підтримки необхідного рівня тиску в трубопроводі системи водопостачання. При цьому досягається суттєва економія споживання електроенергії, а якщо врахувати, що протягом терміну служби двигун витрачає електроенергії на суму, що набагато перевищує його вартість, то цей показник виявляється надзвичайно актуальним.

Потужність насоса для конкретної системи завжди розраховується за рівнем максимального споживання, тобто, з певним запасом. На рис. 2.18 (а) наведена типова схема обчислення необхідної потужності насоса. Блакитною лінією показана «крива насоса» - подавальна частина системи водопостачання, яка відображає залежність тиску нагнітання від величини витрати рідини. Червона лінія - це «крива системи» - споживаюча частина водопостачання, так само відображає взаємозалежність витрати і тиску рідини, але в дзеркальному відображенні. Перетин цих кривих є точкою оптимуму, коли насос забезпечує необхідну витрату і необхідний рівень тиску.

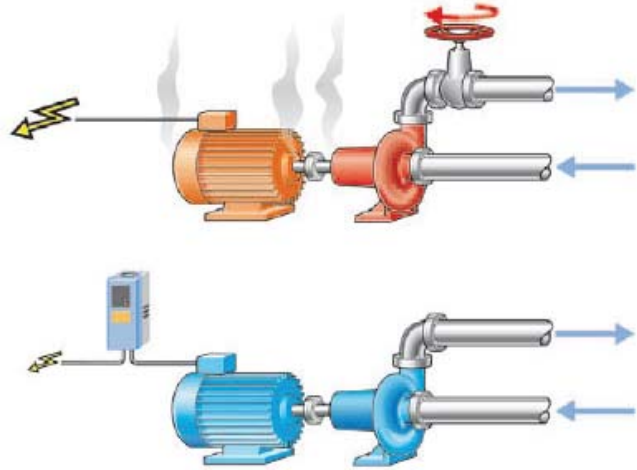
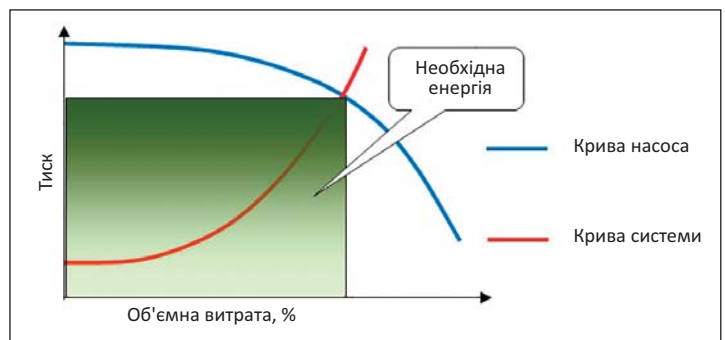
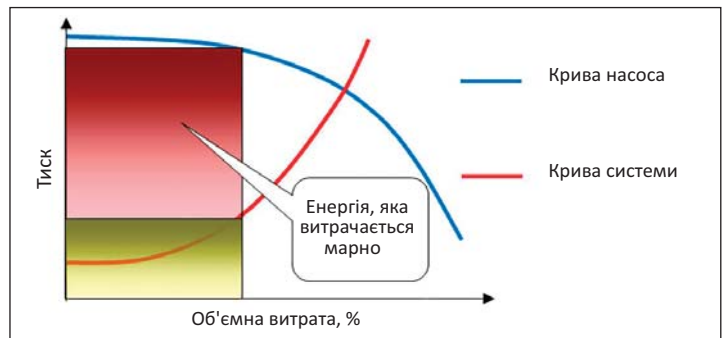


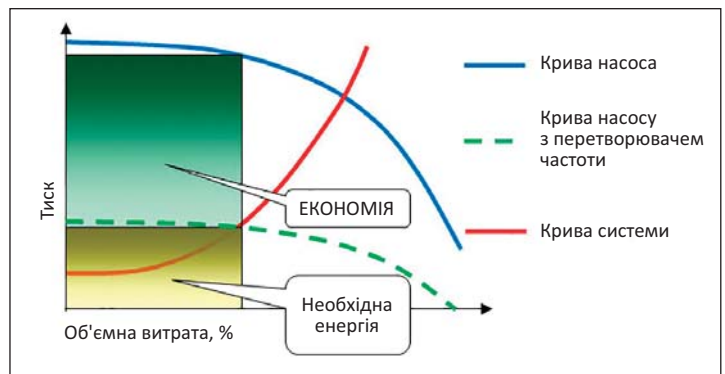
Рис. 2.17 – Принцип енергозбереження при частотному регулюванні насоса



(а)



(б)



(в)

Рис. 2.18 – Методи регулювання тиску в мережі водопостачання

Але фактично в такому режимі система працює вкрай рідко, лише в моменти пікового споживання. В інший час розрахункова потужність насоса виявляється надмірною, і тоді в системах без регулювання або із застосуванням дроселювання відбувається наступне: при зниженні витрати насос створює надлишковий тиск, на створення якого витрачається додаткова енергія (Рис. 2.18 (б)).

Застосування частотних перетворювачів за рахунок зниження обертів двигуна і, як наслідок, споживання електричної енергії дозволяє змінити «криву насоса» адаптувавши її під «криву системи» (Рис. 2.18 (в)).

Електроенергія, яка споживається електродвигуном приводу насоса, витрачається (рис. 2.18):

- при дросельному регулюванні - як на водопостачання споживачів, так і на подолання гідравлічного опору, створюваного регулюючої засувкою;
- при частотному регулюванні - тільки на водопостачання споживачів;
- різниця становить економію електроенергії за рахунок впровадження частотного регулювання електроприводу.

Навіть мінімальне зменшення швидкості обертання вже може призвести до великої економії споживання електроенергії. Так, наприклад, при 75% швидкості обертання досягається 75% об'ємної витрати, що вимагає, однак, лише 42% споживання енергії в порівнянні з тим, яке треба було б при повній об'ємній витраті. Якщо витрата обмежена 50%, то споживання електроенергії тим самим зменшується на 12,5%.

Така економія досягається за рахунок того, що частотний перетворювач здатний змінювати частоту обертання електродвигуна плавно в широкому діапазоні. Фактично, це означає, що електродвигун насоса завжди буде споживати рівно стільки енергії, скільки необхідно для підтримки стабільного тиску незалежно від поточного споживання системи водопостачання в конкретний момент. Плавний пуск, зупинка і зміна частоти обертання двигуна дозволяє також уникнути гідравлічних ударів в трубопроводах, скорочуючи втрати води і збільшуючи термін безаварійної експлуатації насоса, трубопроводу, запірно-регулюючої арматури і вимірювальних приладів.

Як зазначалося у попередньому розділі (розділ 2.3), на ринку частотно-регульованих приладів є чимала кількість компаній, які пропонують перетворювачі частоти різних параметрів та характеристик.

Компанії пропонують частотні перетворювачі для вирішення найрізноманітніших завдань управління насосами: від управління одиночними малопотужними насосами, до каскадного управління групою насосів з автозаміною (Рис. 2.19). Такі перетворювачі можуть живитися як від однофазної, так і трифазної мережі.

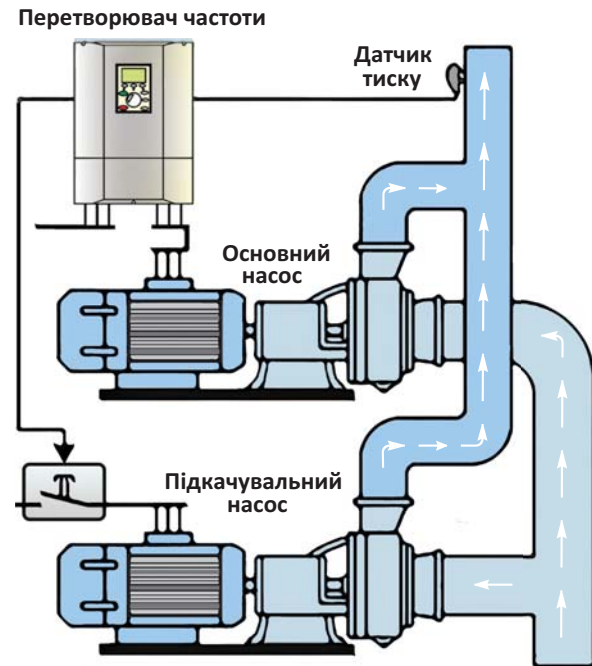


Рис. 2.19 – Регулювання групою насосів за допомогою перетворювача частоти

Для вирішення найпростіших завдань управління малопотужними насосами доступні перетворювачі частоти, які дозволяють виконувати плавний пуск і зупинку, управління режимами розгону/гальмування, захист від «сухого ходу», енергозбереження тощо. Крім того, сучасні перетворювачі частоти мають режими підвищеної точності управління, які дозволяють отримати високий крутний момент двигуна на знижених швидкостях обертання. Приводи з такими перетворювачами відрізняються малими габаритами, можуть монтуватися з нульовими зазорами, впритул один до одного і пропонуються у виконанні для роботи від однофазної і трифазної мережі.

Для вирішення більш складних завдань (автоматичне підтримання тиску, каскадне управління, управління заслінкою і т.п.) рекомендується використовувати частотні перетворювачі, які оснащені вбудованим контуром ПІД-регулювання (пропорційно-інтегрально-диференціальне регулювання). Контур ПІД використовується для підтримки зворотного зв'язку процесу, наприклад тиску, потоку, відповідно із заданим значенням.

А такі додаткові вбудовані функції як каскадне управління трьома додатковими двигунами і управління заслінкою в ряді випадків дозволяють використовувати перетворювачі без керуючого контролера.

Також виробники пропонують перетворювачі частоти з функціями, що оптимізують енергоспоживання насосів. Зазвичай системи перетворювачів частоти працюють на основі прямої пропорційної залежності між частотою і напругою. Це означає, що при збільшенні частоти/швидкості обертання двигуна на 10% напруга також зростає на 10%. У сучасних перетворювачах частоти є функція автоматизації (так звана «оптимізація потоку»), за допомогою якої шляхом узгодження цього співвідношення досягається оптимізація рівня напруги. Ця функція може призвести до додаткової економії енергії до 5%.

Крім того, сучасне частотне обладнання передбачає можливість відключення власного вентилятора охолодження, якщо в ньому немає необхідності. Це призводить до деякого додаткового енергозбереження і продовжує термін служби єдиної рухомої деталі перетворювача частоти.

Зменшення швидкості обертання ротору насоса скорочує споживану потужність в кубічній залежності. У багатьох випадках застосування перетворювачів частоти для керування насосами здатне окупити себе менш ніж за 2 роки. Застосування електродвигунів зі змінною швидкістю обертання в системах водопостачання забезпечує великий потенціал енергозбереження. Тому ця технологія може додати істотний внесок в частині виконання міжнародних угод і стандартів у галузі політики енергозбереження та зниження викидів CO₂.

2.5. Впровадження автоматизованих систем управління процесами водопостачання та водовідведення

Одним із пріоритетних напрямків реформування галузі водопровідно-каналізаційного господарства є підвищення енергоефективності. Основними енергозберігаючими заходами є заміна насосного обладнання на водопровідних та каналізаційних насосних станціях, впровадження частотного регулювання та установок плавного пуску, встановлення технологічного та комерційного обліку води тощо. Але найбільшого ефекту можливо досягти на основі комплексного підходу із врахуванням гідравлічних розрахунків, проведення зонування систем водопостачання, заміни мереж з підбором оптимальних діаметрів, диспетчеризації та створення геоінформаційних систем.

Вдалим прикладом впровадження комплексних заходів є створення автоматизованих систем дистанційного контролю та управління процесами водопостачання та водовідведення (АСУ ТП), зокрема автоматизованої системи диспетчерського управління; автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ); геоінформаційної системи; автомобільного GPS-трекера.

Впровадження зазначених заходів дозволяє виконувати функції з оперативного контролю основних параметрів технологічного процесу та виявлення і реєстрацію аварійних і передаварійних ситуацій; дистанційне керування технологічним процесом подачі води та перекачування стоків тощо.

Ефект від впровадження подібних систем полягає у підтриманні найбільш оптимальних ре-

жимів роботи системи водопостачання та водовідведення, що дозволяє зменшити втрати води на 5-7%, зменшити кількість аварійних пошкоджень трубопроводів до 10%, скоротити пробіг автотранспорту та знизити його простої, зменшити витрати енергетичних та паливних ресурсів на 20-30%, забезпечити належну швидкість ліквідації аварійних ситуацій тощо.

Схема роботи АСУ ТП представлена на рис. 2.20. На кожному об'єкті, що включається в АСУ ТП, встановлюється мікроконтролер, що забезпечує збір інформації про стан устаткування по вимірюваних параметрах (тиску, витратах води, рівню в резервуарах, струму насосних агрегатів, витратах електроенергії). Далі по каналах зв'язку (провідний, радіо, або GSM) інформація передається на центральний диспетчерський пункт (ЦДП) підприємства. Диспетчер може викликати будь-який об'єкт, відобразити схему об'єкта з працюючим устаткуванням і значеннями параметрів, а також керувати пуском – зупинкою насосних агрегатів, регулюванням засувками або приводом насосів. У системі подачі та розподілу води на ЦДП надходить також інформація про тиск з контрольних точок мережі водопостачання. Контрольні точки обладнуються в місцях (найбільш віддалених від насосних станцій або на підвищених геодезичних відмітках), які характеризують напори в прилеглий мережі. Інформація з контрольних точок передається на ЦДП, і по ній ведеться регулювання напорів на виходах насосних станцій.



Рис. 2.20 Схема роботи АСУ ТП

На водоочисних станціях створюються автономні АСУ ТП, при цьому диспетчер станції здійснює контроль та управління насосними станціями I і II підйомів, очисними спорудами (фільтри, відстійники, реагентне господарство). Особливо ефективна автоматизація фільтрувальних блоків, де економія досягається за рахунок зниження витрати промивної води та оптимізації тривалості фільтроциклу.

Автоматизація каналізаційних станцій розвивається шляхом створення цифрових систем управління КНС (з використанням сучасних приладів обліку, контролю, мікропроцесорної техніки та засобів регулювання) та телемеханічного контролю роботи з ЦДП. На КОС також створюються автономні АСУ ТП. АСУ ТП станцій біологічної очистки дозволяють диспетчеру управляти процесом аерації у аеротенках, насосними станціями перекачки активного мулу та очищених стічних вод тощо.

На очисних спорудах як водопостачання, так і водовідведення, також створюються підсистеми контролю якості вхідних, очищених вод та параметрів якості очистки по всьому технологічному процесу.

Як показує практика, створення АСУ ТП дозволяє досягти економії електроенергії у системі водопостачання від 10 до 20%.

Необхідно відзначити, що найбільший ефект від впровадження АСУ ТП досягається в сукупності із застосуванням регулюємого електроприводу насосних агрегатів (частотний перетворювач).

Важливим фактором впровадження автоматизації є не тільки економія електроенергії, але і ряд інших позитивних результатів:

- збільшення терміну служби устаткування та арматури;
- зниження аварійності в мережах і на спорудах;
- підвищення загальної культури ведення технологічних процесів;
- поліпшення умов праці персоналу та ін.

Автоматизація груп насосних агрегатів успішно застосовується на наступних об'єктах:

- станції першого підйому з водойм і свердловин;
- водозабори і водозабірні вузли (ВЗУ);
- підвищувальні насосні станції (ПНС);
- водопровідні насосні станції (ВНС) станції другого, третього, четвертого і п'ятого підйому;
- каналізаційні насосні станції (КНС, ГКНС);
- зливові насосні станції (ЗНС).

Автоматизація насосних агрегатів виконується при застосуванні різних методів і алгоритмів управління насосами, зокрема:

- з перетворювачами частоти;
- з пристроями плавного пуску;
- з комбінуванням частотних перетворювачів і пристроїв плавного пуску;
- з регулюванням одним перетворювачем або декількома одночасно;
- з резервними насосами;
- з контролем нульової витрати;
- з контролем максимальної кількості одночасно працюючих насосів;
- з контролем рівномірної напрацювання насосних агрегатів тощо.

Основні функції комплексів АСУ ТП насосних станцій:

- автоматична підтримка заданого значення тиску рідини на виході насосної станції (або контроль рівня в резервуарі);
- плавний пуск і регульована зупинка електродвигунів насосів для виключення гідравлічних ударів в трубопроводі;
- автоматичне каскадне підключення додаткових насосних агрегатів при недостатній продуктивності працюючих (каскадне регулювання);
- автоматичне чергування включення насосів в роботу для рівномірного вироблення ресурсу електродвигунів і насосів;
- автоматичний перезапуск електродвигуна насоса після короткочасного зниження і відновлення напруги живлення;
- блокування роботи насосних агрегатів на частотах механічного резонансу;
- контроль справності електродвигунів насосів, перетворювачів частоти, пристроїв плавного пуску, електрозасувки;
- автоматичне перемикання на мережу живлення електродвигунів насосів у разі несправності перетворювача частоти або пристрої плавного пуску;
- автоматичне скидання спрацьовування захисту перетворювача.

Впровадження зазначених заходів дозволяє виконувати функції з оперативного контролю основних параметрів технологічного процесу та виявлення і реєстрацію аварійних і перед аварійних ситуацій; дистанційне керування технологічним процесом подачі води та перекачування стоків тощо.

Зокрема, система АСКОЕ дозволяє підприємству здійснювати:

- перегляд даних щодо споживання електричної енергії та потужності в будь-який момент та з будь-якою періодичністю;
- аналіз споживання, прогнозування затрат на електроенергію;
- зберігання та надання інформації щодо споживання електричної енергії та потужності в зручному для аналізу вигляді;
- самостійно контролювати ліміти споживання електричної потужності в години максимального навантаження енергосистеми;
- самостійно контролювати ліміти споживання електричної енергії.

Загальний ефект від подібних комплексних рішень полягає у встановленні найбільш оптимальних режимів подачі води всіма насосними станціями і зменшенні витрат води на 5-7%; зменшення аварійних пошкоджень трубопроводів до 10%; зменшення витрат енергетичних ресурсів на 20-30%; забезпечення швидкої ліквідації аварійних ситуацій тощо.

Промислова автоматизація охоплює всі рівні управління підприємством, яких в класичній схемі налічується три. Нижній рівень - датчики і контролери, встановлені безпосередньо на виробництві. Це найпростіші пристрої, які збирають інформацію і видають керуючий сигнал. Середній рівень - оператори процесів і начальники служб. Тут найчастіше застосовуються робочі станції, як правило, в промисловому виконанні. Вищий рівень - це керівництво підприємства, де розумно використовувати звичайні офісні комп'ютери. Тут вже можна говорити про безпосередній зв'язок з системами ERP. Так що асортимент постачальників обладнання зазвичай включає велику кількість позицій продукції - від промислових клавіатур і контролерів до потужних серверів. Впровадження систем автоматизації передбачає необхідність установки прикладного ПЗ для обробки інформації: сигнал з датчиків повинен бути відображений наочно, щоб оператор мав можливість об'єктивно оцінити ситуацію і втрутитися в процес при необхідності. А керівництву повинна надійти вже узагальнена інформація без непотрібних подробиць.

Схема автоматизації насосних станцій 1 і 2 підйому з перетворювачем частоти наведена на рис. 2.21.

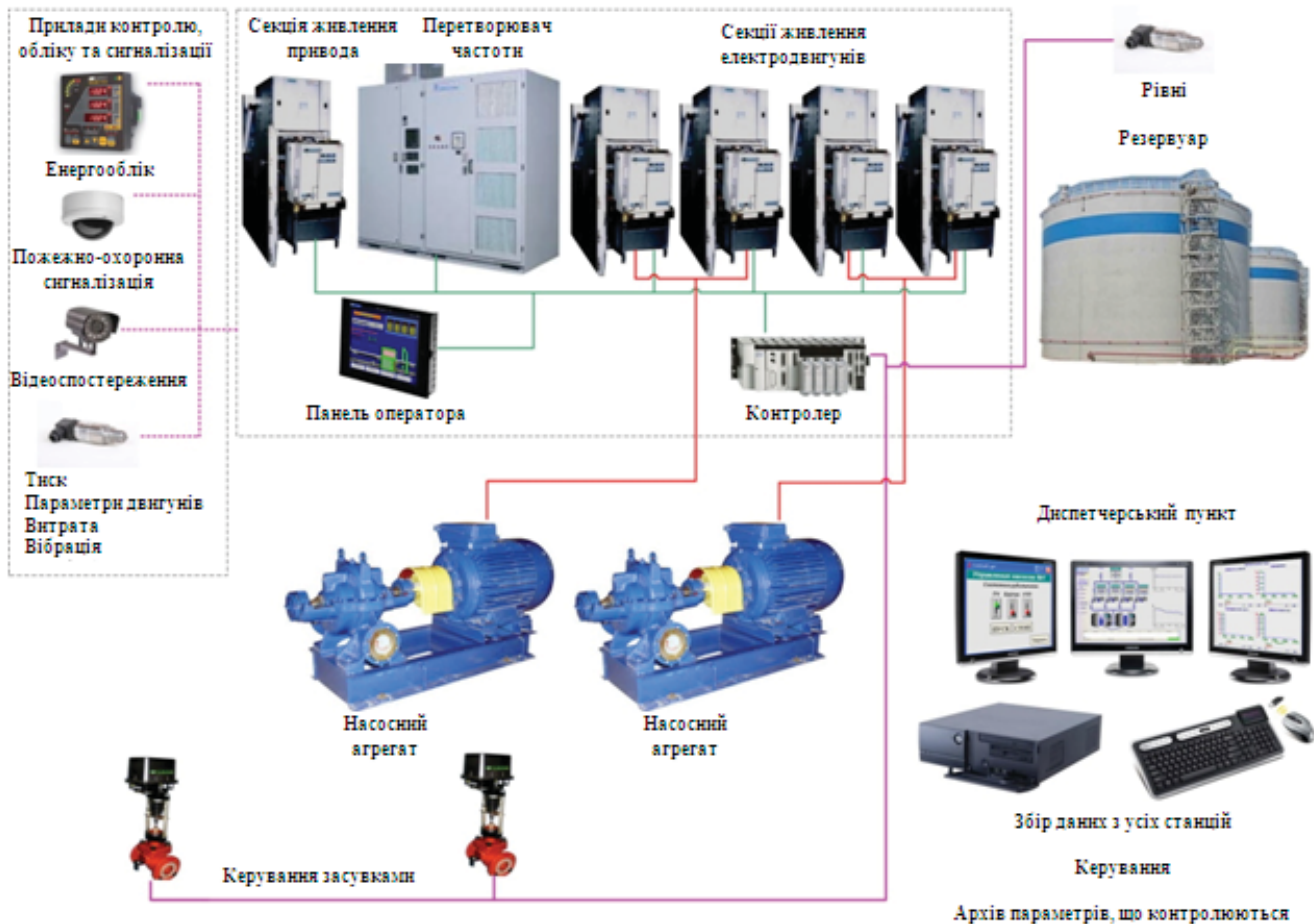


Рис. 2.21 Схема автоматизації насосних станцій 1 і 2 підйому з перетворювачем частоти

Сьогодні на ринку промислової автоматики представлена продукція різних виробників, більшість з яких іноземні. На українському ринку контролерних засобів працюють всі міжнародні лідери – виробники цієї продукції: ABB (яка поширює також контролерні кошти фірм Baily Controls та Gartman & Braun), Emerson (бывшая Fisher-Rosemount), General Electric Fanuc Automation, Foxboro, Honeywell, Metso Automation, Moore Products,

Omron, Rockwell Automation, Siemens, Yokogawa, Schneider Automation та ін. Всього близько 15 фірм, кожна з яких пропонує від двох до п'яти контролерних засобів різних класів. Крім цих компаній на українському ринку представлена продукція багатьох інших іноземних, а також вітчизняних виробників компонентів та обладнання для АСУ ТП. Перелік деяких виробників засобів автоматизації та електротехніки, які діють у Україні наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Перелік виробників засобів автоматизації та електротехніки

Найменування	Характеристика
Phoenix Contact, м. Київ	Компанія заснована понад 90 років тому в Німеччині і на сьогоднішній день є одним з провідних світових виробників промислової електроніки та електротехніки. Пропонує компоненти та рішення в галузі промислових сполук, автоматизації, інтерфейсної техніки і захисту від імпульсних перенапруг
Бартек Україна, м. Київ	Офіційний та ексклюзивний представник на території України німецького виробничого концерну Bartec (GmbH). Основні напрямки: компоненти АСУ ТП, комутація, системи кабельного електрообігріву трубопроводів, ємностей, КВПіА, телемеханіка, системи попереднього сповіщення

Продовження табл. 2.7

Найменування	Характеристика
Біонтоп, м. Дніпропетровськ	Компанія спеціалізується на випуску 10 кВ трансформаторів струму для заводів електромонтажних виробів і високовольтної апаратури, які застосовуються в комплектних електричних пристроях (КРУ, КРУН, КСВ)
Завод Євроформат, м. Київ	Український виробник монтажних електротехнічних шаф підлогового і настінного виконання зі ступенем захисту до IP65. Також завод займається виробництвом телекомунікаційних і серверних шаф; стійок для монтажу серверного обладнання; кліматичних і антивандальних шаф
ЗПУЄ-Україна, м. Івано-Франківськ	Польсько-українська компанія, яка входить до структури групи «ZPUE S.A.». ZPUE SA - один з найбільших в Європі виробників електротехнічного обладнання
Імпульс, м. Запоріжжя	Підприємство розробляє і виробляє електротехнічні прилади будь-якої складності (джерела живлення, інвертори, перетворювачі напруги, джерела безперебійного живлення, зарядні пристрої, перетворювачі напруги)
Легранд Україна, м. Київ	Представництво в Україні Групи Legrand - світового лідера у виробництві продукції електротехнічного призначення, постачальника комплексних рішень для електричних та інформаційних мереж
ВО «ОВЕН», м. Харків, http://owen.ua/	Вітчизняний виробник засобів промислової автоматики та контрольно-вимірювальних приладів (датчики, контролери, перетворювачі частоти, регулятори тощо). Продукція компанії успішно використовується в системах промислового холоду та контролю клімату, машинобудівної, хімічної, харчової галузях промисловості, в житлово-комунальному господарстві, агропромисловому комплексі, а також в енергетиці, науці, освіті та інших найважливіших галузях народного господарства
Системи реального часу – Україна, м. Дніпропетровськ	Вітчизняний виробник розподіленої системи SCADA DCS-S3. Розробка програмного забезпечення. Виробництво промислових комп'ютерів, комп'ютерів для харчової промисловості, спеціальних комп'ютерів. Системна інтеграція. Виробництво багатоканальних комплексів стендових випробувань, АСУ ТП дозування, шихтоподачі, газоочистки і аспірації, руднотермічні печі, виробництво спирту тощо
Schneider Electric, м. Київ	Компанія є світовим експертом в управлінні енергією. Підрозділи компанії успішно працюють більш ніж в 100 країнах. Schneider Electric пропонує інтегровані енергоефективні рішення для енергетики та інфраструктури, промислових підприємств, об'єктів цивільного та житлового будівництва, а також центрів обробки даних

Крім безпосередніх виробників продукції засобів автоматизації, на ринку України діє також значна кількість дистриб'юторів та інтеграторів. З повним переліком компаній представлених на ринку автоматизації можна ознайомитись на сайті ТОВ «ЕЙ ЕМ СІ УКРАЇНА» (www.ua.automation.com).

Вартість впровадження АСУ ТП залежить від багатьох факторів, починаючи від вартості конкретного обладнання або системи, закінчуючи рівнем автоматизації та складності конкретного технологічного процесу. Тому повна вартість АСУ ТП систем водопостачання та водовідведення визначатиметься конкретним проектом його розробником та виконавцем.

Висновки щодо застосування сучасних систем водопостачання та водовідведення

Підтримання високої ефективності роботи систем водопостачання та водовідведення є одним з пріоритетних напрямків діяльності служб ЖКГ. Однак існуючі темпи наростання зносу часто перевищують обсяги відновлювального ремонту. Причини низької надійності та ефективності систем водопостачання та водовідведення міст України відомі і склалися не за один день.

Впровадження сучасних енергоефективних систем і обладнання дозволить не тільки скоротити енергоспоживання технологічних процесів водопідготовки, водопостачання та

водовідведення, а також очищення комунально-побутових стоків, але і значно підвищити якість води та послуг в цілому.

Заміна старих і зношених водопровідних та каналізаційних мереж на нові, виготовлені із сучасних матеріалів, використання нових енергоефективних насосів, впровадження систем автоматики на базі частотних регуляторів доз-

волить комплексно вирішити проблему низької ефективності роботи систем водопостачання та водовідведення.

Реалізація комплексних заходів з підвищення енергоефективності систем водопостачання та водовідведення дозволить заощадити до 30% витрат на енергоресурси.

2.6. Утилізація мулового осаду з метою отримання енергії

Внаслідок біологічної очистки муніципальних стічних вод утворюються незаражені в анаеробних умовах мулові відходи у вигляді стійкої стабілізованої суспензії, яка після евакуації на мулові поля перетворюється під дією природних факторів, таких як зволоження, висушування, виморожування тощо, в гелеподібний осад. Такі мулові колоїди містять головним чином біологічні клітки, продукти метаболізму забруднень стічних вод та сполуки важких металів, наявність яких у мулі викликає його токсичність.

В ЖКГ України щорічно накопичується близько 1,8 млн. тон мулового осаду, поглиблюючи існуючі екологічні проблеми в містах і околицях та створюючи нові виклики. Зокрема, річна потреба земельних ресурсів для мулових полів в Україні становить 120 га, а для міста Києва – 14 га. Основна маса осаду складається на мулових полях, очистка яких за роки незалежності України не відбувалася.

Зазвичай обезводнений муловий осад, який підсушується на полях-накопичувачах в містах України, може бути використаний в якості добрива в сільському господарстві. Проте, в українських умовах цей муловий осад забруднений важкими металами та іншими небезпечними речовинами і це обмежує його використання для таких цілей. Муловий осад також може використовуватися для озеленення те-

риторій, облаштування ландшафту, рекультивції полігонів твердих побутових відходів та промислових відходів.

Захоронення є високовартісним рішенням, яке також викликає суттєве забруднення води та ґрунтів.

Погіршення екологічної ситуації та проблеми, що пов'язані з виділенням нових територій для зберігання мулового осаду, призводять до необхідності пошуку технологій утилізації мулового осаду. Це питання є особливо гострим для столиці, а також великих міст України.

Муловий осад має складний хімічний склад. Він містить до 40% органічної складової і, відповідно, до 60% мінеральної речовини в перерахунку на суху масу. Органічна речовина представлена протеїнами, які є основним компонентом клітки (до 50%), вуглеводнями (до 20%), гуміновими сполуками (до 17%), урновими та нуклеїновими кислотами (близько 1%). Залежно від умов експозиції, співвідношення між компонентами органічної речовини мулу можуть змінюватися.

На сьогоднішній день у світі використовується значна кількість методів з утилізації мулового осаду, серед яких, провідне місце займає термічна утилізація.

В таблиці 2.8 наведені основні характеристики технологій, які застосовуються при термічній утилізації та переробці мулового осаду.

Таблиця 2.8

Технології для термічної утилізації та переробки мулового осаду

Метод	Принцип дії	Переваги	Недоліки
<p>Спалювання осаду, в тому числі у киплячому шарі</p>	<p>Представляє собою процес окислення органічної частини осаду при підвищеній температурі до нетоксичних газів (двоокису вуглецю, водяна пара і азот) та виділення мінеральної частини у вигляді розплаву та золи.</p> <p>Спалювання відбувається при температурі 800-1200°С. Раніше зневоднений осад подається в піч, де він згорає з виділенням золи та димових газів. Димові гази використовуються для генерації енергії (пари електроенергії).</p>	<p>Найбільш освоєний та високоінтенсивний метод. Може використовуватися безпосередньо на основі глибокозневодненого осаду.</p> <p>Забезпечує практично повне знищення органічної речовини осаду. Кількість сухої речовини зменшується в 2-3 рази, а обсяг щодо зневодненого осаду в 15 разів.</p> <p>Осад може також спалюватися з іншим паливом: разом з твердими побутовими відходами (до 20%), з бурим вугіллям (до 5 % від маси вугілля), в цементних печах, одночасно як компоненти сировини або замість частини палива (також до 5% від маси сировини).</p> <p>Компактність установок.</p>	<p>Забруднення навколишнього середовища, необхідність очистки (сухої, мокрої або напівсухої). Окислення органічної речовини. Необхідність проведення очистки димових газів у два або три етапи: 1) піловловлювання; 2) основна чистка (остаточне піловловлювання та поглинання кислих компонентів); 3) абсорбція ртуті, діоксинів та фуранів. Очистка є сухою, напівсухою та мокрою. Використовується для очистки гідроксид натрію, вуглекислий натрій та вапняк.</p> <p>Тільки незначна частина енергії органічної речовини може бути використана для виробництва електроенергії. Часто енергія на сушку перевищує енергію, що можна отримати в результаті процесу спалювання осаду</p> <p>Згорання зневодненого осаду вимагає попередньої сушки, що є енерговитратним методом.</p> <p>Складні установки.</p> <p>Недосконалість технології може нанести значної шкоди для навколишнього середовища та населення.</p>
<p>Гранулювання осаду</p>	<p>Спалювання відбувається зпри температурі 800-1200°С. Попередньо зневоднений та глибоко висушений осад спалюється з подачею повітря в топці. Мінеральна частина осаду плавиться і відводиться внизу, формуючи задані склоподібні форми. Відхідні гази очищуються та викидаються в атмосферу.</p>	<p>Найбільш освоєний та високоінтенсивний метод. Може використовуватися безпосередньо на основі глибокого зневодненого осаду</p> <p>Отримується на виході мінералізований товар, а не зола.</p> <p>Суттєво скорочується маса викидів, які забруднюють атмосферу.</p> <p>Виключення можливості потрапляння до атмосферного повітря органічних сполук (діоксини, фурани) у зв'язку з високою температурою обробки.</p>	<p>Забруднення навколишнього середовища, необхідність очистки. Окислення органічної речовини. Тільки незначна частина енергії органічної речовини може бути використана для виробництва електроенергії.</p> <p>Висока вартість обладнання. Робота з мінеральними розплавами.</p>

Метод	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Піролізні газифікація та зрідження	<p>Розклад органічної речовини осаду відбувається під впливом високої температури.</p> <p>Зрідження відбувається при температурі 600-900°C та без доступу кисню.</p> <p>Процес газифікації здійснюється в присутності контрольованої кількості кисню при температурі 450-1050°C.</p>	<p>Мінімальна кількість викидів. Відсутність утворення окислених супертоксикантів (діоксин тощо).</p> <p>Отримання твердого та рідкого палива.</p>	<p>Вимагає попередньої глибокої сушки осаду.</p> <p>Синтез-газ є токсичним та пожежонебезпечним.</p> <p>Недостатньо перевірена технологія.</p>
Плазмова обробка	<p>Здійснюється в плазмотроні при температурі 2000-4000°C.</p> <p>Плазма утворюється від протікання електричного струму через розрядний проміжок.</p>	<p>Повне окислення органічних речовин, відсутність токсичних речовин у викидах.</p> <p>Отримання моторного палива з осаду.</p>	<p>Високотемпературне обладнання.</p> <p>Недостатньо перевірена технологія. Потребує доопрацювання.</p>
Рідкофазне окислення (мокре спалювання)	<p>Окислення речовини осаду киснем з повітря при температурах 150-350°C та тисках 2-28 МПа.</p>	<p>Не вимагає зневоднення осаду (тільки злучення).</p> <p>Не утворюються високотоксичні речовини.</p> <p>Відносно низькотемпературний процес.</p> <p>Ефект скорочення обсягу осаду близький до того, який досягається при спалюванні. Залишок може бути використаний як добриво.</p>	<p>Металоємні реактори та теплообмінники, що працюють при високих температурах.</p> <p>Використання технічного кисню підвищує вимоги до безпеки використання.</p> <p>Висока ступінь потенційної небезпеки експлуатації установки внаслідок високих температур, тиску, використання кисню.</p> <p>Висока вартість обладнання та високі експлуатаційні витрати.</p>

Термоутилізація мулового осаду дає можливість забезпечити ряд позитивних результатів, зокрема:

- зменшення загального об'єму;
- вирішення проблеми поганого запаху;
- упередження викидів забруднювачів у водойми;
- можливість вторинного використання для цементу, дорожнього покриття, цегли тощо.

На рисунку 2.22 наведена принципова технологічна схема термоутилізації мулового осаду в киплячому шарі під тиском. Ця технологія має

ряд переваг. Зокрема конструкція такої установки проста та компактна, оскільки обробка мулового осаду прискорюється за рахунок високого тиску. Ця установка на 40% має нижчі показники по споживанню електроенергії та на 10% менше потребує теплової енергії, що суттєво покращує її загальний енергобаланс. Зменшуються викиди закису азоту на 50%. Також використання таких установок повністю співвідноситься з нормами ЄС щодо вмісту шкідливих речовин у димових газах. В таблиці 2.9 наведені основні нормативи та рівень викидів забруднювачів при використанні такої технології в Японії, ЄС та Україні.

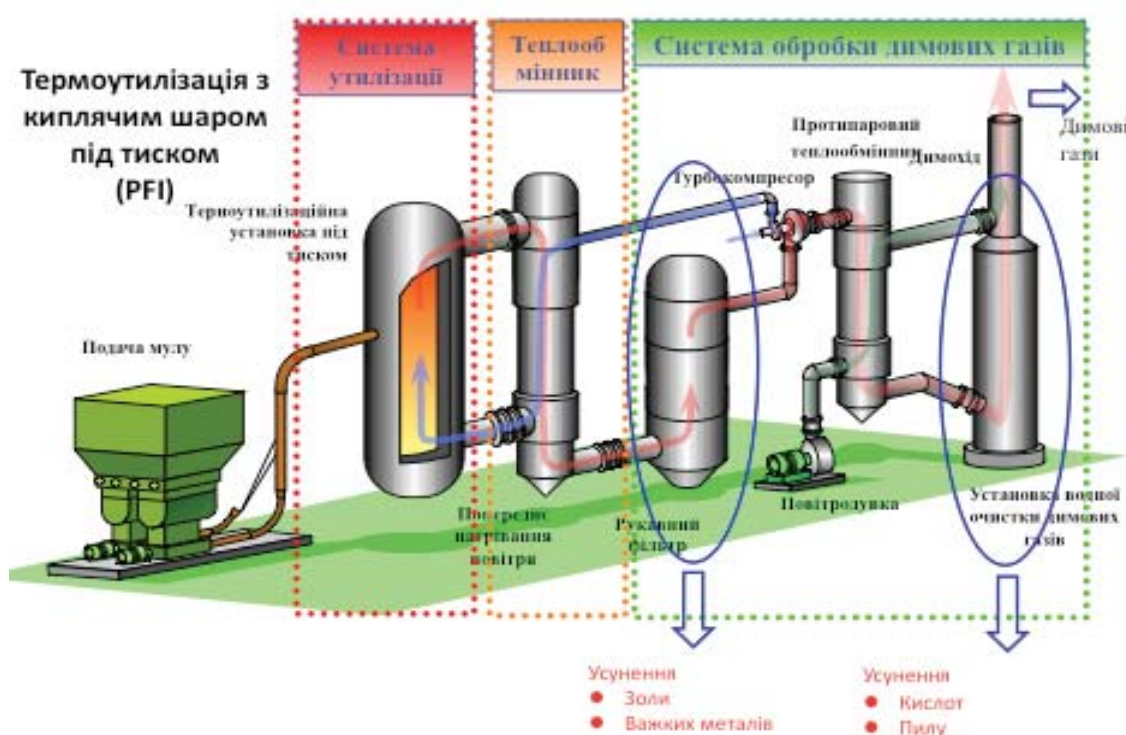


Рис. 2.22 Принципова схема технології киплячого шару під тиском для спалювання мулового осаду

Таблиця 2.9

Хімічний склад димових газів при використанні технології спалювання мулового осаду в киплячому шарі під тиском

Компонент (мг/м³)	Фактичні викиди		Нормативи викидів		
	Приклад № 1 Японії	Приклад № 2 Японії	Японія	Україна	ЄС
CO	43,4	17,2	139	250	50
Пил	2,0	1,1	22	50	10
Органічний вуглець	-	-	-	-	10
HCl	<0,3	<3,0	778	30	10
HF	-	<0,5	-	5	1

Продовження таблиці 2.9

Компонент (мг/нм ³)	Фактичні викиди		Нормативи викидів		
	Приклад № 1 Японії	Приклад № 2 Японії	Японія	Україна	ЄС
SO _x	<0,5	<0,5	99	500	50
NO _x	25	22,1	278	500	200
Cd + Ti	<0,002	<0,01	-	0,2	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,01	-	-	1	0,5
Діоксини та фурани	0,0000074	0,0000036	0,09	20	0,0001

Використання технології спалювання мулового осаду в киплячому шарі під тиском дає змогу суттєво покращити екологічні та економічні показники цього процесу. У таблиці 2.10 надається коротке порівняння основних енер-

гетичних та екологічних характеристик звичайного спалювання осаду у киплячому шарі зі спалюванням у киплячому шарі за рахунок турбовидування димових газів.

Таблиця 2.10

Порівняння параметрів двох технологій спалювання мулового осаду – у звичайному киплячому шарі та у киплячому шарі під тиском¹

Показник	Звичайний киплячий шар	Киплячий шар під тиском
Споживання електроенергії допоміжним обладнанням, кВт	350	180
CO ₂ викиди (т/рік)		
Внаслідок споживання електроенергії	1399	714
Внаслідок споживання додаткового палива	1054	780
Витрати на паливо та електроенергію (млн. йен/рік)		
електроенергія	30,2	15,6
паливо	31,1	23,0
Викиди CO (O ₂ :12%) (ppm)	50	13,3
Викиди NO _x (O ₂ :12%) (ppm)	100	31,5
Викиди N ₂ O (г N ₂ O/т обезводненого осаду)	645	280

В Європейському Союзі спалювання мулового осаду набуває все більшого поширення з огляду на дефіцит земельних ресурсів у містах та обмеженості щодо використання відходів у якості добрива. Сьогодні налічується

вже понад 30 муніципальних станцій, головним чином у Франції (25), Великобританії (2), Іспанії, Швейцарії, Польщі, Росії. Встановлено 50 печей спалювання загальною потужністю понад 80 млн. т сухої речовини.

¹ Source - Combustion characteristics of sewage sludge in an incineration plant for energy recovery. Takahiro Murakami, Yoshizo Suzuki, Hidekazu Nagasawa, Takafumi Yamamoto, Takami Koseki, Hitoshi Hirose, Seiichiro Okamoto.

Очікується різке збільшення обсягів виробництва мулового осаду у зв'язку з більш жорсткими нормами щодо видалення забруднень. В Європейському Союзі спостерігається зростання мулового осаду на рівні 1% на рік. При цьому найбільш поширеним способом утилізації мулового осаду залишається його використання в якості добрива у сільському господарстві. Вивезення на полігони демонструє динаміку до зменшення. На рисунку 2.23 надається розподіл основних напрямків використання мулового осаду.

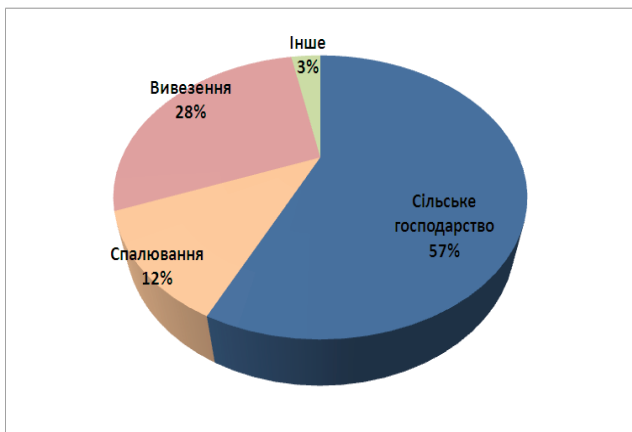


Рис. 2.23 Утилізація мулового осаду (світова практика)

Технологія утилізації мулового осаду станцій біологічного очищення

Технологія киплячого шару розроблялася компанією Küttner (Німеччина) протягом багатьох років. Перші успішні установки для регенерації формувального піску були споруджені в 90-ті роки. Адаптація існуючих ноу-хау з обробкою

низькокалорійного палива у сфері охорони навколишнього середовища привела до спалювання мулового осаду за допомогою технології киплячого шару. Більше 80% теплового потенціалу палива може бути використано в процесі спалювання.

Ключовим питанням при розробці будь-яких технологій є ідентифікація енергетичних потоків та балансу.

Компанія Küttner розробляє і постачає обладнання у всьому світу. У тісній співпраці зі своїми клієнтами компанія розробляє рішення для окремих компонентів і для підсистем заводів під ключ. При розробці індивідуальних рішень основна увага звернена на ефективне використання енергії і мінімізацію витрат матеріалів. Цей підхід застосовується як для концептуально нових конструкцій, так і для існуючих.

Для утилізації мулового осаду стічних вод існує інноваційна технологія, яка є екологічно безпечною для водойм, ґрунту і повітря та економічно вигідною.

Теплова енергія, яка залишилася після попереднього нагрівання повітря і сушки мулового осаду, доступна для подальшого застосування:

- для нагрівання осаду в потоці, що піднімається в живильній башті;
- у системах центрального опалення;
- для виробництва електроенергії;
- для промислового використання.

Технологія спалювання мулового осаду в киплячому шарі є апробованою і має високий коефіцієнт експлуатаційної готовності.

Послідовність технології спалювання мулового осаду наведена на рис. 2.24.

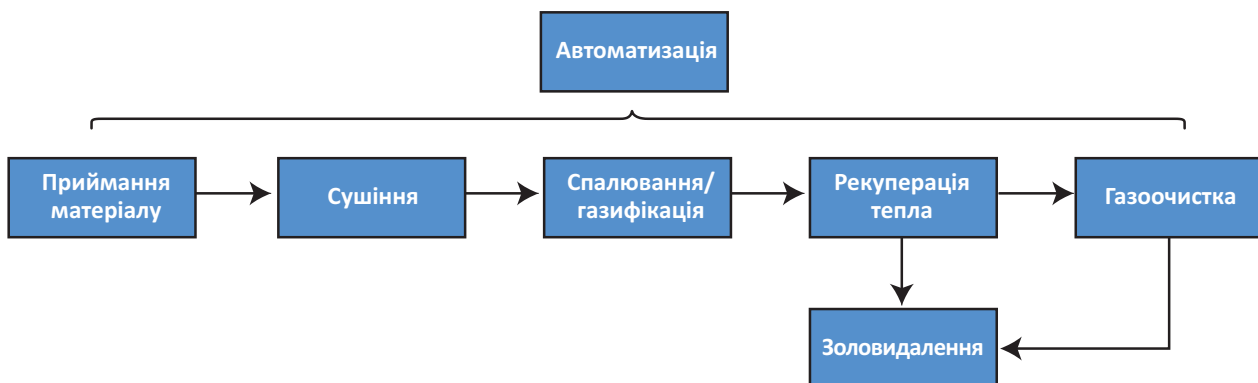


Рис. 2.24 Послідовність технології спалювання мулового осаду

Інноваційні підходи і процеси термічної утилізації мулового осаду за технологією киплячого шару протестовані і відповідають усім вимогам. Ця технологія дозволяє утилізувати фосфор шляхом використання отриманої золи

для виробництва добрива, яке поверне його в природний цикл.

Принципова схема технологічного процесу утилізації мулового осаду наведена на рис. 2.25.

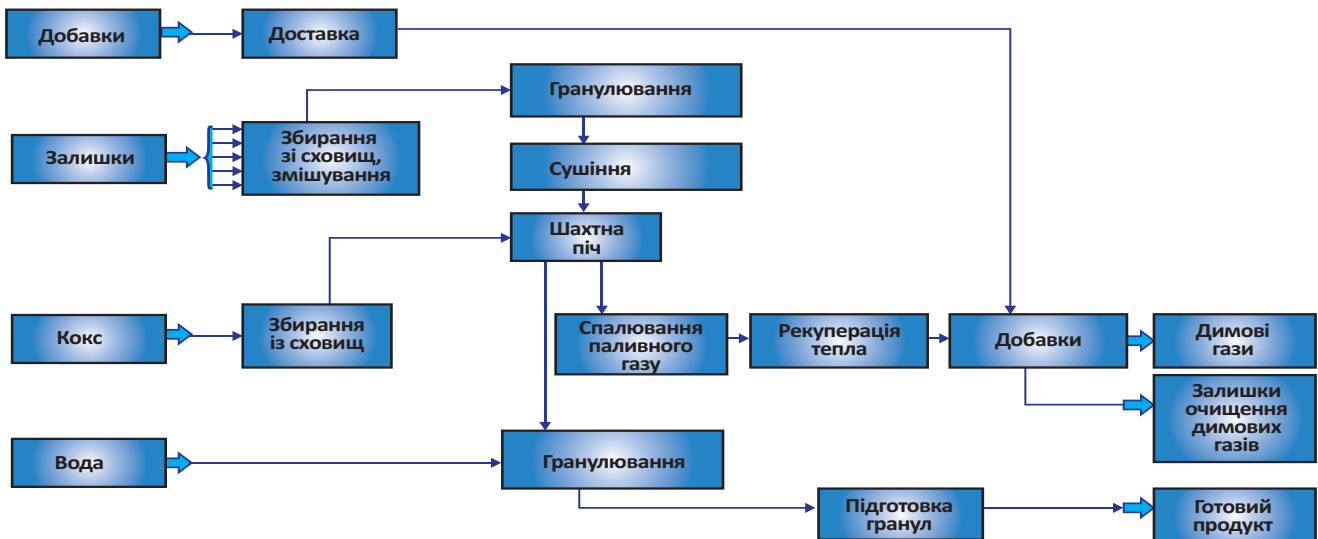


Рис. 2.25 Принципова схема технологічного процесу утилізації мулового осаду

Основний процес утилізації мулового осаду проходить у так званому термічному реакторі. У технології утилізації компанії Küttner застосовується два типи реакторів:

Тип 1 – із закритою керамічною основою (Рис. 2.26). Особливістю цього реактора є закрита керамічна основа для подачі повітря. Так звана повітряна камера і палиник знаходиться під цією основою, що полегшує запуск реактора. Таке розташування найкраще для всіх типів мулового осаду з низькою кількістю домішок. Висота шару може регулюватися через бічний

відвід. Тип 1 ідеально підходить для одноступеневого і двоступеневого процесу згоряння. Тип 2 – з відкритою основою (Рис. 2.27). Особливістю цього реактора є відкрита основа для подачі повітря. Така конструкція більш підходить для мулових осадів з великою кількістю домішок. Завдяки безперешкодній подачі повітря, домішки переміщуються в центральний отвір. Тут вони витягуються з реактора, і від'єднуються від киплячого шару. Ця модель ідеально підходить для одноступінчатого і двоступеневого процесу згоряння.

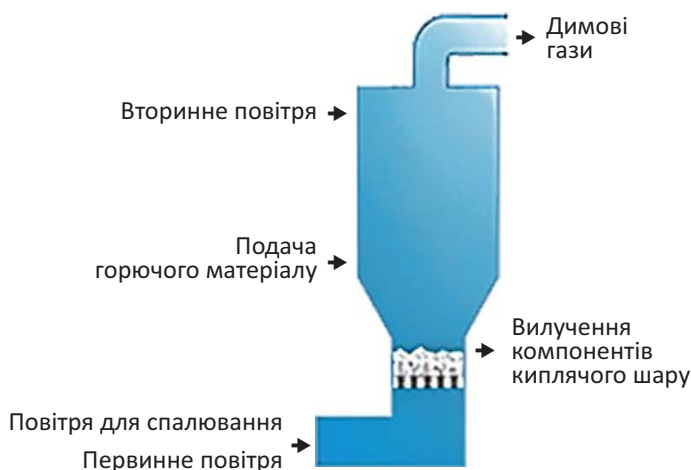


Рис. 2.26 Термічний реактор із закритою керамічною основою

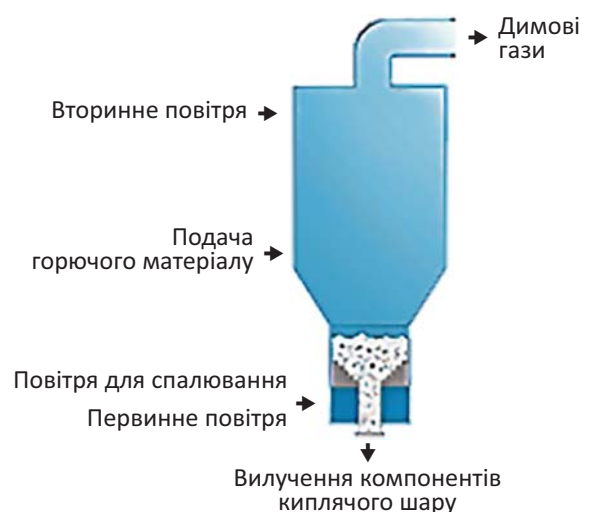


Рис. 2.27 Термічний реактор з відкритою керамічною основою

Конструкція та зовнішній вигляд термічного реактору наведені на рис. 2.28.

Компанією Küttner розроблено та широко впроваджуються технології киплячого шару

із закритою системою подачі повітря та з відкритою нижньою частиною основи, основні технічні характеристики яких наведені в таблиці 2.11.

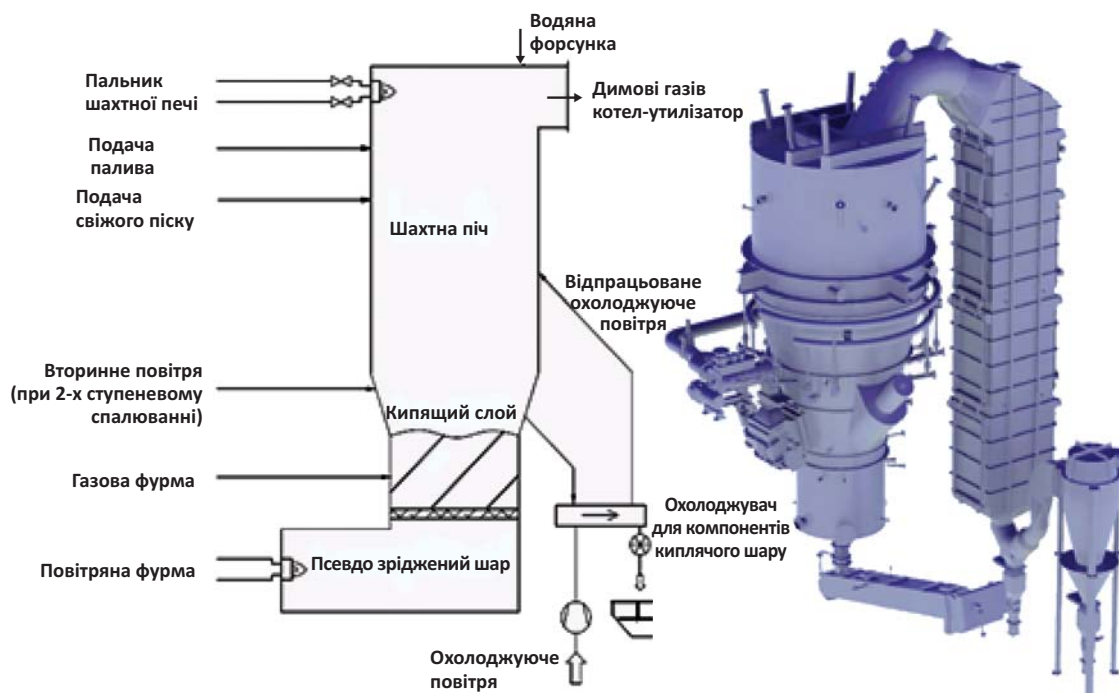


Рис. 2.28 Конструкція та зовнішній вигляд термічного реактору

Таблица 2.11

Основні характеристики технологій утилізації мулового осаду в киплячому шарі

Найменування	Технологія киплячого шару	
	З закритою системою подачі повітря	З відкритою нижньою частиною основи
Потужність, тис. т/рік	10	16
Висота реактору, м	9	15
Температура киплячого шару, °C	850	850
Питома витрата мулу, т/год	1,5 зневодненого мулу (50 % сухої маси)	1,5 зневодненого мулу та промислового шламу (48 % сухої маси)
Теплова потужність, МВт	3,0	2,4
Спосіб рекуперації теплоти	Паровий котел	Термомасляний котел
Паровиробництво, т/год	3,5 (тиск 20 бар)	-
Потужність термомасляного котла, МВт	-	2,2
Матеріали для спалювання	Побутовий, нафтохімічний і промисловий мул	Шлами целюлозно-паперового та шкіряного виробництва, побутові стоки
Схема розподілу повітря	Одноступенева	Двоступенева
Золовидалення	Випускний пристрій з охолоджувачем з киплячим шаром	Безперервне видалення золи/домішок

Зовнішній вигляд термічного реактору із закритою та відкритою нижньою частинами наведено на рис. 2.29 та рис. 2.30 відповідно.



Рис. 2.29 Зовнішній вигляд термічного реактору із закритою системою подачі повітря



Рис. 2.30 Зовнішній вигляд термічного реактору з відкритою системою подачі повітря



Рис. 2.31 Масовий баланс при спалюванні мулового осаду стічних вод

Масовий баланс при спалюванні мулового осаду стічних вод наведено на рис. 2.31.

Вибір теплової потужності утилізаційної установки залежить від кількості мулу, який необхідно утилізувати, кількість якого в свою чергу залежить від кількості мешканців (таблиця 2.12).

Зовнішній вигляд термоутилізаційної установки мулового осаду наведено на рис. 2.32.

Таблиця 2.12

Залежність утилізаційної установки від кількості мулу

Теплова потужність, МВт	Населення, тис. чол.	Муловий осад, тис. т/рік (25 % вологості)
1	60...70	15...16
3	180...200	45...50
10	630...650	150...160

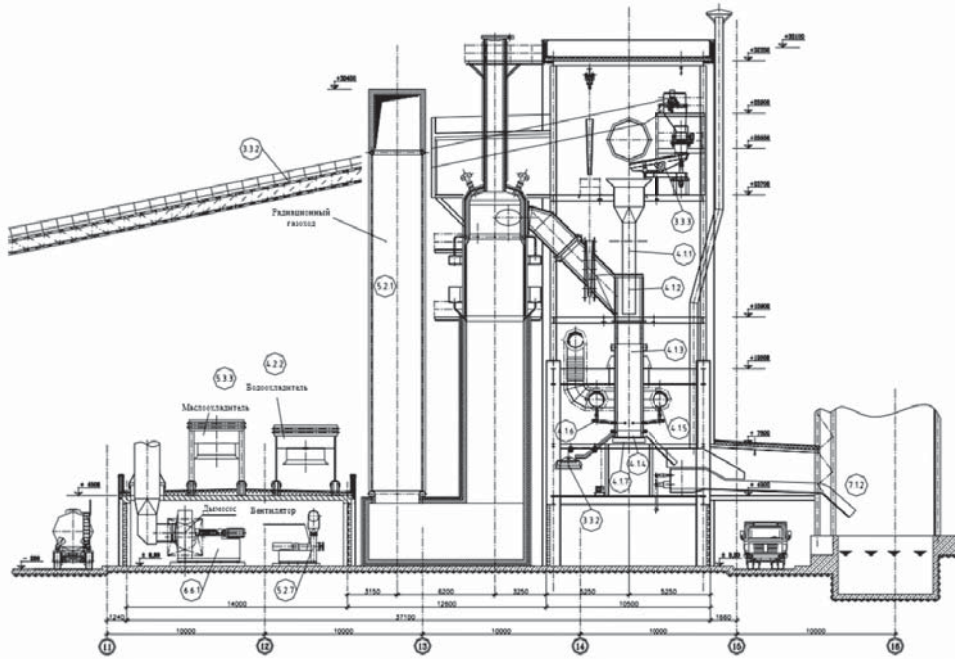


Рис. 2.32 Зовнішній вигляд термоутилізаційної установки мулового осаду

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ МУЛОВОГО ОСАДУ

1. Метод утилізації мулового осаду підбирається індивідуально в залежності від композиції осаду, екологічної ситуації, зацікавленості у вирішенні спричинених муловими полями проблем тощо.
2. Знезараження або ліквідація мулового осаду у світі відбувається головним чином за рахунок викидів осаду в океан, його захоронення або спалювання. Ці способи сьогодні не можна вважати безпечними з екологічної точки зору та економічно доцільними. Як наслідок, в сьогоднішніх умовах все більше держав світу використовують інші шляхи утилізації мулового осаду, зокрема для отримання будівельних матеріалів, біопалива, активованого вугілля, електроенергії чи використання як добрива в сільському господарстві.
3. Утилізація відходів є як екологічною, економічною, так і соціальною проблемою для нинішніх і для майбутніх поколінь. У минулому муловий осад стічних вод використовувався для сільськогосподарських цілей, у той час як у містах більш поширеним був спосіб захоронення його на звалищах.

Використання мулового осаду в сільському господарстві в якості добрива вигідно лише з погляду низької вартості. Але екологічний аспект, з точки зору того, що в осаді містяться важкі метали, повністю ігнорується. Збільшення частки забруднюючих речовин у воді, що

підлягає обробці, призводить до подальшого збільшення кількості мулового осаду стічних вод. Крім того, осад містить велику кількість стійких токсичних речовин, що не розпадаються. Це і лікарські препарати, косметичні засоби, миючі добавки, а також пом'якшувальні речовини від пластику, антипірени, тощо. Потрібно запобігати попаданню цих речовин в річки, озера й підземні води.

Краще рішення проблеми - утилізація мулового осаду стічних вод шляхом пошуку економічної альтернативи, яка буде нешкідливою для навколишнього середовища і безпечною для працівників заводів з утилізації осаду. Інноваційні підходи і процеси термічної утилізації мулового осаду за технологією киплячого шару протестовані і відповідають усім вимогам. Ця технологія дозволяє утилізувати фосфор шляхом використання отриманої золи для виробництва добрива, яке поверне його в природний цикл.

4. Стічні води містять також важкі метали, які при незначних концентраціях, життєво важливі для розвитку рослин, однак при великих концентраціях обумовлюють токсичність осаду. В залежності від щільності населення та виробничої діяльності регіонів, кількість важких металів (мікроелементів) в біологічному осаді може коливатися в значних обсягах та суттєво перевищувати граничні допустимі показники.

5. У разі неможливості або обмеженості використання мулового осаду для потреб сільського господарства як добрива або для будівельної

промисловості тощо, рекомендується також зневоднений муловий осад використовувати як добавки при спалюванні традиційного палива в різних технологічних процесах, зокрема разом з твердими побутовими відходами (до 20%), якщо є встановлені потужності по спалюванню твердих побутових відходів, на теплоелектростанціях з бурим вугіллям (до 5 % від маси вугілля), в цементних печах, одночасно як компоненти сировини або замість частини палива (також до 5% від маси сировини). Це відповідає принципам найкращих практик та дає змогу суттєво зменшити навантаження на мулові поля, урізноманітнити способи утилізації мулу, вирішити низку екологічних та енергетичних питань.

6. Серед можливих методів термічної утилізації мулового осаду, найбільш перспективною та перевіреною технологією є спалювання у киплячому шарі. Ця технологія, що японськими спеціалістами була довершена за рахунок використання підвищеного тиску, має бути імплементована вперше в Україні на базі Бортницької станції аерації, для чого Уряд

Японії виділив кредит Україні на суму понад 1 млрд. дол. США. Впровадження цього проекту матиме значний ілюстративний та мультиплікативний ефект для України.

7. Перспективною технологією термічної утилізації мулового осаду є і піролізна установка, що дає можливість виробляти з мулового осаду карбонізоване паливо, яке в подальшому може спалюватись на звичайних теплоелектростанціях разом з вугіллям. Інші технології, які перераховані нижче, можуть також бути повністю рекомендовані для впровадження згідно з конкретними умовами кожного підприємства та необхідності вирішення тих чи інших екологічних, енергетичних проблем та питань безпеки.
8. Очистка стоків та утилізація мулового осаду має відбуватися у раціональній спосіб, що забезпечує вирішення енергетичних та екологічних питань. Влаштування системи очистки стоків та утилізації осаду дозволяє також скоротити викиди парникових газів за рахунок ефективної утилізації біогазу та синтезу газу, а також виробленого палива.

2.7. Висновки та рекомендації

Підприємства водопостачання та водовідведення є одними з найбільших комунальних підприємств у населених пунктах України.

Необхідність перекачування значних обсягів води та комунально-побутових стоків, експлуатація сотень кілометрів трубопроводів, забезпечення працездатності великої кількості потужного насосного обладнання обумовлюють споживання системами водопостачання та водовідведення значних обсягів енергетичних ресурсів, переважно електроенергії.

Тому ефективність роботи цих підприємств безпосередньо обумовлюється ефективністю роботи обладнання та систем, які ними експлуатуються.

В Україні системи водопостачання та водовідведення характеризуються значними енергозатратами та марнотратством, що є наслідком:

- експлуатації застарілого обладнання, такого як насоси, трубопроводи, очисні споруди тощо;
- використання недосконалих та енергоємних технологій у процесах підготовки та очищення води;
- відсутності контролю та обліку споживання води та інших енергоресурсів;
- відсутності оптимізованих схем водопостачання та водовідведення;

- наявності значних технологічних та нетехнологічних втрат води на всіх етапах її транспортування та використання;
- інших факторів.

Внаслідок цього енергозбереження у водопостачанні та каналізації визначається заходами, що дозволяють зменшити споживання електроенергії для забору води, її очищення, обробки, подачі, розподілу та водовідведення, зокрема очищення стічних вод та утилізації мулового осаду.

Загалом енергозберігаючі заходи за витратами поділяють на безвитратні, мало-, середньо- і високовартісні.

До числа безвитратних і маловитратних заходів з енергозбереження у водопостачанні та каналізації відносять:

1. Дотримання правил експлуатації систем водопостачання та каналізації і застосуваного в них обладнання. Ці правила передбачають своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів, заміну набивання і підтяжку ущільнень насосів, вентилів і засувок, заміну несправної арматури, усунення витоків тощо.
2. Заміна азбестографітових ущільнень насосів ущільненнями на основі тефлону, що забезпечують збільшення терміну ек-

платуації в середньому в 6 разів. Витрати окупаються протягом не більше 6 місяців.

3. Заміна арматури застарілих типів на сучасну (у рукомийниках, раковинах, змішувачах, в зливних бачках унітазів тощо).

Середньозатратні енергозберігаючі заходи мають термін окупності 2-3 років. До них відносять:

1. Забезпечення економічних режимів експлуатації насосів;
2. Зміна діаметру трубопроводів, застосування труб з полімерних матеріалів зміна принципової схеми конструктивного виконання систем водопостачання та водовідведення;
3. Економія електроенергії та води при переході до оборотних систем водопостачання;
4. Боротьба з відкладеннями в системах водопостачання і водовідведення;
5. Усунення витоків води;
6. Організація обліку водоспоживання;
7. Диспетчеризація і АСУ;
8. Стимулювання зацікавленості населення і персоналу підприємств у зниженні перевитрати води;
9. Аналіз режимів системи водовідведення (режимів роботи насосного обладнання станцій перекачування і очисних споруд);

До **високовитратних енергозберігаючих заходів** відносять:

1. Енергозберігаючі заходи в електрогосподарстві систем водопостачання та водовідведення пов'язані з впровадженням автоматичної системи контролю та обліку енергоспоживання (АСКОЕ) з подальшим переходом з двозонного тарифу оплати електроенергії на однозонний.

Очікуваний ефект забезпечується:

- на першому етапі її реалізації - за рахунок зниження потужності, що стає можливим внаслідок більш оперативного обліку електроспоживання;
 - на другому етапі - переходом на більш вигідні одноставкові зонні тарифи, диференційовані за часом доби (Перехід допускається ТІЛЬКИ ЗА НАЯВНОСТІ У ПІДПРИЄМСТВА АСКОЕ).
2. Будівництво очисних споруд, обладнаних утилізаційним обладнанням.
 3. Впровадження технології утилізації мулового осаду із застосуванням технології спалювання в киплячому шарі для отримання електричної та теплової енергії, а також використання золи, що утворюється при спалюванні, в якості добрив або домішок у будівельні матеріали.

3

НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

За роки незалежності України кількість транспортних засобів, що відносяться до громадського транспорту знизилась майже вдвічі з 12,3 до 6,2 тис. одиниць. За даними Міністерства інфраструктури України близько 80% засобів громадського транспорту не відповідають умовам безпеки перевезень, є морально та технічно застарілими¹. Крім цього, неефективний та несучасний громадський транспорт, головним чином, автобусний та автомобільний парк, завдає значної шкоди навколишньому середовищу міст, погіршує комфорт життя громадян, спричиняє додатковий шум, вібрацію, погіршує якість повітря, ґрунтів, води, спричиняє викиди парникових газів. Тому для України модернізація громадського транспорту, особливо автотранспорту, є нагальною потребою. Це також стосується вуглецевої політики, яка в частині автотранспорту в Україні є неефективною.

У цьому розділі надається короткий огляд та характеристики основних технологічних рішень, які забезпечать екологізацію транспорту та майбутній розвиток громадського транспорту. Також коротко оглядається практика основних заходів, які також дозволяють суттєво скоротити витрати палива на пасажирські перевезення та відповідно зменшити забруднення навколишнього середовища.

Перспективні технології для громадського транспорту

В таблиці 3.1 перераховані основні технології, що забезпечують зниження викидів парникових газів в громадському транспорті.

Основні види палива, які на сьогодні можуть бути запропоновані для автотранспорту, наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1

Основні технології, які забезпечують скорочення викидів парникових газів в сфері громадського транспорту

Альтернативні технології	
Повністю електричний привід	Транспортний засіб заряджаються виключно електроенергією, що акумулюється в тягових батареях
Гібридно-електричний привід	Використовує комбінацію двигуна внутрішнього згорання та одного або кількох електричних моторів
Зарядний гібридно-електричний привід	Використовує значно більшу тягову батарею, що дозволяє заряджати її із зовнішньої мережі для проїзду на порівняно більшу дистанцію
Електричний привід з дозарядкою	Представляє собою повністю електричний автомобіль, що має можливість заряджати тягову батарею із встановленого в транспортному засобі генератора, що у свою чергу працює від бензину/дизелю тощо
Гібридний привід з маховиком	Використовує ротацію маховика для зберігання енергії, що, як правило, втрачається під час гальмування або зменшення швидкості. Ця енергія потім повертається назад в систему і скорочує споживання основного палива
Гідравлічний гібридний привід	Використовує герметичну рідину для зберігання енергії, що, як правило, втрачається під час гальмування або зменшення швидкості. Ця енергія потім повертається назад в систему і скорочує споживання основного палива
Привід з паливними елементами	Перетворює водень та повітря в електричну енергію, що рухає транспортний засіб
Двигуни на альтернативних видах палива	В якості палива може використовуватися газ, біодизель, біоетанол, суміші на основі біоетанолу та біодизелю тощо.

¹ <http://biz.liga.net/all/transport/novosti/3032674-v-ukraine-ne-otvchayut-trebovaniyam-k-bezopasnosti-80-transporta.htm>

Таблиця 3.2

Основні види палива та енергії, які на сьогодні можуть бути запропоновані для автотранспорту

Альтернативні види джерел енергії для транспортних засобів	
Біопаливна суміш	Суміші звичайного палива та біопалива (в окремих випадках вміст біопалива може навіть сягати 100%), як наприклад, біодизель та біоетанол у відповідності до європейських стандартів (EN590 та EN228)
Олія	В якості палива на 100% використовується рослинна олія
Природний газ	Викопне паливо, що складається головним чином з метану
Біометан	Паливо, яке має схожий хімічний склад з природним газом, однак, органічного походження
Скrapлений нафтовий газ	Викопне паливо, що складається, головним чином, з пропану і бутану
Водень	Водень є хімічним елементом, що може бути використаний у вигляді палива для автомобілів безпосередньо або через паливний елемент
Дротова електрична зарядка	Зарядка електричного автомобіля відбувається через підключення до електромереж
Статична індукційна зарядка	Бездротова зарядка. Використовується електромагнітне поле для перетворення енергії, коли автомобіль припаркований. Його не потрібно підключати до електричної мережі
Динамічна індукційна зарядка	Бездротова зарядка. Зарядка відбувається через електромагнітне поле під час руху автомобіля.

ГАЗОВІ АВТОБУСИ

Короткий опис

Газові автобуси відрізняються від звичайних традиційних бензинових та дизельних автобусів використанням в якості палива вуглеводневих газів (пропан-бутан або природний газ чи біометан). Для спалювання цього палива використовується спеціальний двигун, що працює за принципом Отто, коли теплота підводиться до робочого тіла за умови постійного об'єму. У газі октанове число є вищим, а отже, досягається краща енергетична ефективність. Газові автобуси вже сьогодні широко використовуються в окремих державах світу. Зокрема в ЄС експлуатується близько 13 тис. одиниць таких автобусів, близько 40% їх кількості припадає на Німеччину та Францію. Автобуси, що працюють на газі вигідно відрізняються від звичайних бензинових/дизельних автомобілів з огляду на нижчі експлуатаційні витрати та значно менші викиди забруднюючих речовин, зокрема, SO_x, NO_x та пилу. Значно рідше газові автобуси працюють на органічному газі (біогазі). Ця технологія є розвинутою, однак вимагає більших капітальних затрат і добре продуманої логістики постачання сировини для виробництва біогазу.

У Франції у м. Лілль в якості пілотного проекту ще з 1995 року працюють автобуси, які заправляються біометаном з найближчої станції збору та зберігання органічних відходів та виробництва біогазу.

Газові автобуси характеризуються низькими викидами забруднюючих речовин, що на 82-97% нижчі в порівнянні з екологічним стандартом Євро 5.

Загальний вигляд газового автобусу наведено на рис. 3.2.



Рис. 3.2 Загальний вигляд газового автобусу

Таблиця 3.3

Переваги і недоліки використання газових автобусів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – зменшення енергетичних витрат на 100 км пробігу; – скорочення викидів забруднюючих речовин у атмосферу; – відсутність викидів пилу; – скорочення викидів CO₂ тощо. 	<ul style="list-style-type: none"> – порівняно вищі капітальні затрати; – вищі витрати на обслуговування; – необхідність розбудови інфраструктури; – менший пробіг від заправки до заправки; – вища залежність від якості палива.

НОВІТНІ ТРОЛЕЙБУСИ

Короткий опис технології

Тролейбуси, як правило, є звичайною технологією на терені України, але сучасний їх стан навіть в українській столиці – Києві, свідчить про відсталість цього виду транспорту від сучасних технологічних досягнень.

Зокрема, сучасні троллейбуси виконуються у гібридному варіанті, таким чином, щоб кінетична енергія, яка втрачається, могла бути використана для зарядки акумулятора троллейбуса. В німецькому місті Еберсвальде гібридний троллейбус має змогу з 240 км свого щоденного маршруту близько 40 км (17%) долати без верхніх електричних троллейбусних ліній зарядки.

Слід зауважити, що висока вартість розбудови інфраструктури контактної мережі є найбільшою технологічною проблемою широкого розповсюдження троллейбусів. Однак, порівняно з вартістю вдосконалення трамвайної інфраструктури, впровадження сучасних тро-

лейбусних технологій є економічно привабливим.

В ЄС дослідження показують, що амортизаційний період троллейбусної інфраструктури на рівні 18 і більше років дозволяє експлуатаційним витратам троллейбусів досягти рівня беззбитковості у порівнянні зі звичайним дизельним транспортним засобом.

Загальний вигляд сучасного троллейбуса наведено на рис. 3.3.



Рис. 3.3 Загальний вигляд троллейбуса

Таблиця 3.4

Переваги і недоліки використання гібридних троллейбусів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – використання потенційно чистої електроенергії (у перспективі електроенергія може вироблятися з низькими викидами забруднюючих речовин та CO₂); – відсутність викидів безпосередньо з троллейбуса; – рекуперація кінетичної енергії, що втрачається в результаті гальмування; – низькі операційні та енергетичні затрати на експлуатацію; – безшумність ходу тощо. 	<ul style="list-style-type: none"> – необхідність створення інфраструктури; – високий рівень капітальних вкладень; – обмежені ділянки для ефективного використання громадського транспорту.

АВТОБУСИ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ (ЕЛЕКТРОБУСИ)

Короткий опис

Основним джерелом енергії в такій технології є порівняно велика електрична батарея. Батарея забезпечує енергією електричний тяговий двигун та допоміжні електричні системи. Окремі електробуси можуть використовувати допоміжне обладнання, як наприклад, дизельний генератор, що наближає їх за своїми характеристиками до гібридних автобусів. Принципова схема електробуса зображена на рис. 3.4.

Сьогодні електробуси набувають все ширшого використання завдяки їх екологічності. Проте, вони не є ще достатньо конкурентними з огляду на високу вартість технології, насамперед електричних акумуляторів.

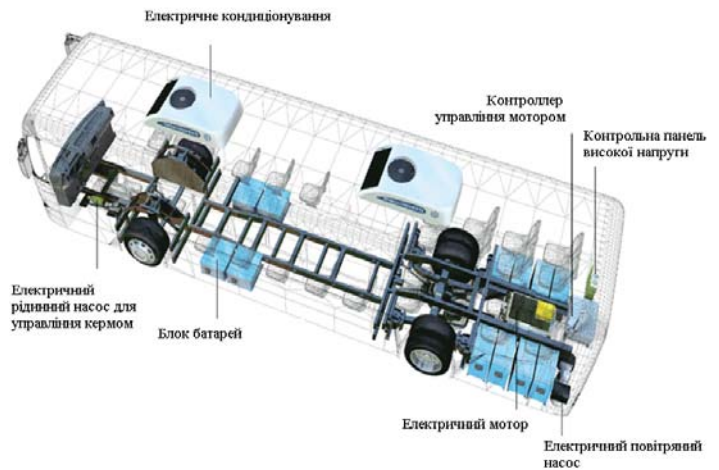


Рис. 3.4 Принципова схема електробуса

Таблиця 3.5

Переваги та недоліки використання електробусів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – використання чистої енергії; – відсутність викидів безпосередньо з автобуса; – нічний режим зарядки, що дає змогу використати дешеву електроенергію; – рекуперація кінетичної енергії, що втрачається в результаті гальмування; – низькі операційні та енергетичні затрати на експлуатацію; – безшумність ходу. 	<ul style="list-style-type: none"> – обмежений автономний пробіг (до 200 км) пробіг від зарядки до зарядки, порівняно зі звичайними автобусами; – порівняно низька ефективність батарей; – недорозвиненість інфраструктури в Україні.

ГІБРИДНІ АВТОБУСИ

Короткий опис

Сьогодні також широкого вжитку набувають автобуси, що використовують електричний мотор, літєво-іонну батарею та невеличкий дизельний/бензиновий двигун. Батарея при

цьому заряджається від мережі, а дозарядка відбувається в процесі руху автобуса. Його показники щодо споживання палива можуть бути вдвічі меншими від традиційних аналогів.

Принципова схема роботи гібридного транспортного засобу зображена на рис. 3.5 та 3.6.

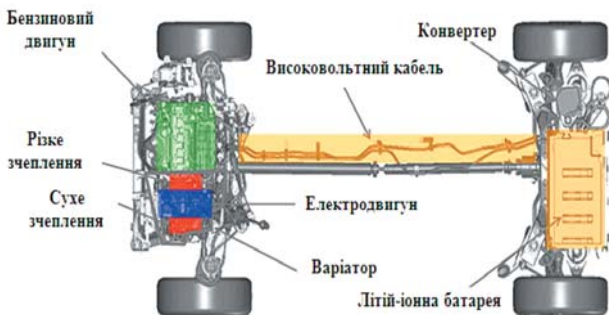


Рис. 3.5 Принципова схема роботи гібридного транспортного засобу

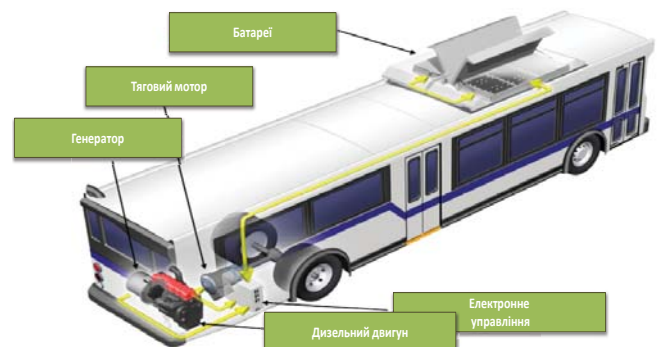


Рис. 3.6 Загальний вигляд та принципова схема гібридного автобуса

З меншою ефективністю, можуть використовуватися звичайні гібридні установки в автобусах, коли основна енергія постачається за рахунок звичайного дизельного/бензинового двигуна, а електрична енергія отримується за рахунок перетворення кінетичної енергії при гальмуванні.

І перший і другий тип автобусів можуть бути рекомендовані для застосування вже сьогодні. Наприклад, в Лондоні сьогодні функціонує близько 1500 гібридних автобусів. Такі гібридні автомобілі на 30 відсотків зменшують викиди CO₂ та до 50 відсотків викиди інших забруднюючих речовин.

Таблиця 3.6

Переваги та недоліки використання гібридних автобусів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – зменшення споживання викопного палива (бензину чи дизелю); – скорочення викидів забруднюючих речовин у атмосферу; – зменшення експлуатаційних витрат; – рекуперация кінетичної енергії в результаті гальмування; – низький рівень шуму; – перевірений досвід експлуатації (надійність технології); – збільшення пробігу тощо. 	<ul style="list-style-type: none"> – високі капітальні затрати; – складнощі при використанні спарених автобусних кабін; – обмежена доступність окремих компонентів;

БІОПАЛИВНІ АВТОБУСИ

Короткий опис технології

Набувають ширшого використання також автобуси, що працюють на біопаливі, наприклад, біоетанолі та біодизелі. В невеликих пропорціях частки біопалива (від 5 до 10%) використовують традиційні бензинові чи дизельні двигуни. При збільшенні цієї частки потребуються спеціальні двигуни внутрішнього згорання.

У Бразилії вже понад десять років громадський транспорт широко використовує біоетанол як основний вид палива. Це пов'язано зі значними обсягами виробництва продукту в цій країні. В інших державах світу використання біопалива є менш поширеною практикою. Проте, в ЄС біопаливо є обов'язковою складовою дизелю та бензину, що продається на заправках. До 2020 року ця частка повинна досягнути 10 відсотків.

Значно менш поширеною є практика використання біопалива як основного палива в ЄС. Сьогодні в ЄС працює лише близько сотні ав-

тобусів, що використовують у вигляді палива ED95, що на 95% складається з біоетанолу і на 5% з добавок для покращання згорання. Також існують і поширені автобуси, що можуть працювати на 100% біодизелі різного походження.

Загальний вигляд автобусу на біопаливі наведено на рис. 3.7.



Рис 3.7 Заправка біоетанолом громадського автобусу (фото).

Таблиця 3.7

Переваги та недоліки використання біопаливних автобусів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – зменшення споживання викопного палива (бензину чи дизелю); – скорочення викидів забруднюючих речовин у атмосферу та CO₂; 	<ul style="list-style-type: none"> – вищі капітальні та експлуатаційні витрати; – нерозвиненість інфраструктури для використання біопалива, у тому числі як основного виду палива тощо.

АВТОБУСИ З ПАЛИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Короткий опис технології

Паливний елемент це електрохімічний генератор, який забезпечує пряме перетворення хімічної енергії на електричну. Наприклад, воднева паливна комірка використовує водень в якості палива та кисень (зазвичай з повітря) як окиснювач. Загалом електрична складова автобусів передбачає встановлення порівняно потужної електричної батареї (100 кВт), наприклад, літійо-іонна батарея.

Найбільш поширеним паливним елементом є полімерна електролітична мембрана. Вона є легкою і не вимагає високих температур для роботи. Також використовуються паливні елементи на основі лужних матеріалів. Сьогодні разом з електричним виробництвом такі елементи мають загальну ефективність на рівні 60%.

Сьогодні також з'явилась технологія метанольних паливних елементів, коли чистий метанол змішується з паром. Оскільки метанол має вищу енергетичну густину, ніж водень, ефективність такого елемента є вищою і сучасна існуюча інфраструктура може бути використана для потреб автотранспорту. На ринку існує багато виробників паливних елементів. Серед них Siemens and Proton Motor Fuel Cell GmbH, Ballard Power Systems and Hydrogenics, United Technologies Corporation Fuel Cells, Enova Systems, Shanghai Shen-Li High Tech Co. Ltd., Toyota, Hyundai Motor Co. тощо.

Загалом технологія на паливних елементах сьогодні ще не є комерційною і тому лише в окремих випадках автобуси на паливних елементах застосовуються у світі та Європі за суттєвої державної підтримки. Це пов'язано з тим, що експлуатаційні витрати на таку технологію приблизно вдвічі вищі від витрат для автобусу на дизелі. В ЄС ця технологія, як очікувалось понад десятиріччя тому назад, повинна стати комерційною з 2015 року. Проте, сьогодні ця дата відкладається на пізніший строк, ймовірно 2025-2030 рр. Очікується, що автобуси на паливних елементах в ЄС до 2020 року сягнуть показника на рівні 1000 одиниць. В якості палива використовуватиметься водень. Принципова схема транспортного засобу на паливній комірці зображена на рис. 3.8.

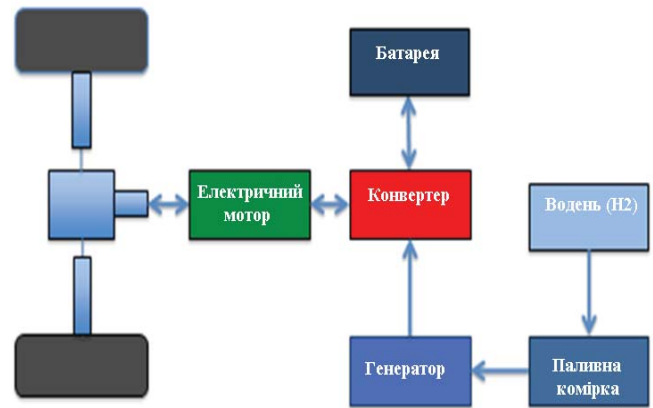


Рис 3.8 Принципова схема транспортного засобу на паливному елементі

Таблиця 3.8

Переваги та недоліки використання автобусів з паливними елементами

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – відсутність викидів забруднюючих речовин; – висока енергоефективність; – рекуперация кінетичної енергії, що втрачається в результаті гальмування; – потенціал щодо загального нульового балансу з викидів, якщо відновлювальна енергія використовуватиметься для отримання водню; – повна незалежність від викопного палива. 	<ul style="list-style-type: none"> – високі капітальні затрати; – порівняно низька надійність, що потребує покращення; – виробництво водню та зберігання його в автобусі; – низька технічна та економічна доступність водневої зарядки; – практично повна відсутність відповідної інфраструктури в Україні.

Індикативні економічні показники різних новітніх екологічних видів транспорту

Для оцінки економічної ефективності громадського транспорту з використанням різних новітніх технологій потребується проведення окремого дослідження. Нижче наведені результати такого дослідження на прикладі США,

де за основу порівняння було взято дизельний автобус з низькими викидами сірки, автобус, що використовує стиснений природний газ та гібридний електричний автобус. Було проведено дослідження на основі 100 автобусів з 12-річним життєвим циклом. Середня швидкість автобусів була оцінена на рівні 20,48 км/

год, а середній пробіг на рік складав 51 500 км. Кожен автобус в середньому вміщує 40 пасажирів.

Результати дослідження представлені на графіку на рис. 3.9.

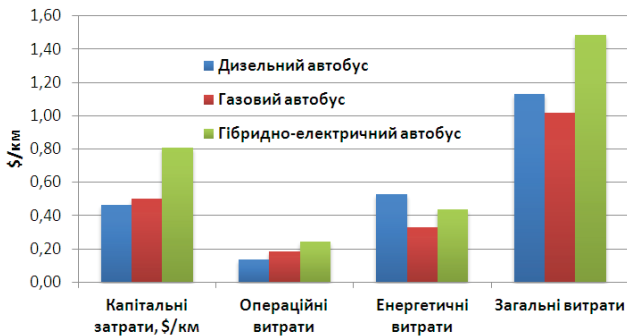


Рис. 3.9 Порівняння індикативних економічних показників різних типів громадських автобусів

Таким чином, електрично-гібридні автобуси на сьогодні є найдорожчою альтернативою на ринку США, але характеризуються середніми експлуатаційними затратами і можуть конкурувати з дизельними автобусами.

Однак, якщо взяти до уваги екологічні аспекти, ситуація дещо змінюється. На рис. 3.10 надані результати дослідження порівняння зазначених вище автобусів з екологічної точки зору та з точки зору економії палива.

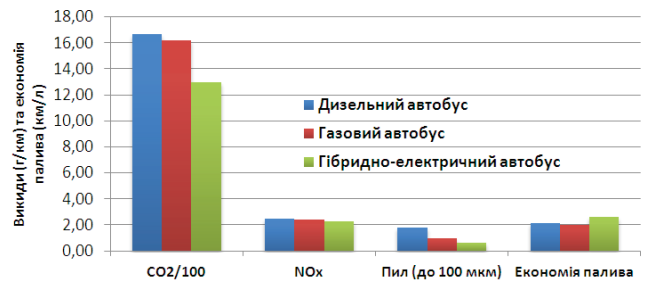


Рис. 3.10 Порівняння екологічних характеристик різних типів громадських автобусів

Таким чином, як видно з результатів аналізу, використання гібридно-електричного автобусу дає змогу суттєво покращити екологічну ситуацію у містах.

В цьому документі та європейських директивах описані також транспортні засоби, що можуть працювати на паливних елементах. І хоча на сьогодні вони не є конкурентоздатними, перспектива їх є привабливою.

У порівнянні зі звичайним дизельним автобусом, автобус на паливних елементах характеризується вищими капітальними та експлуатаційними витратами. Проте, загальна енергетична ефективність автобусів на паливних елементах є вищою.

Нижче у таблиці 3.9 надані основні показники порівняння автобусів на двох технологіях – автобусу на паливних елементах та дизельного автобусу¹.

Таблиця 3.9

Порівняння експлуатаційних витрат дизельного та на паливних елементах автобусів

	Автобус на паливних елементах	Дизельний автобус
Вартість палива (\$/км)	0,96	0,42
Витрати на ремонт (\$/км)	0,94	0,41
Загальні експлуатаційні витрати (\$/км)	1,87	0,83
Пробіг, км/л	3,4	1,8
Викиди NO _x , т/рік	Відсутні	62,5 (для газового автобусу – 25)
Викиди пилу, т/рік	Відсутні	1,25 (для газового автобусу – 0,25)

У розрахунок взято пробіг 50 000 км з середньою швидкістю 20 км/год. Таким чином, використання автобусів на паливних елементах

дає змогу радикально покращити екологічну ситуацію у містах, однак вимагає вищих коштів на їх придбання та обслуговування.

¹ Kevin, C., & Leslie, E. (2011). Zero Emission Bay Area (ZEBA). Fuel Cell Bus Demonstration: First Results Report, Technical Report, NREL/TP-5600-52015, <http://www.nrel.gov/hydrogen/pdfs/52015.pdf>, Accessed 10 May 2012.

Загальні рекомендації щодо модернізації громадського транспорту

1. Оскільки громадський транспорт, головним чином автотранспорт, є одним з найбільших забруднювачів навколишнього середовища у містах, впливає на захворювання населення та потребує значних економічних витрат, модернізація громадського транспорту повинна відбуватися із врахуванням екологічних особливостей нових транспортних засобів та палива для них. Це повністю відповідає європейській практиці та має поступово виконуватися Україною в рамках зобов'язань асоціації з ЄС.
2. Вибір та закупівля нових транспортних засобів за кошти муніципалітетів чи інших джерел фінансування, має обмежуватись та базуватись на новітніх екологічних технологіях, серед яких на ринку є гібридні, електричні, гібридно-електричні, біопаливні, газові та на паливних комірках транспортні засоби. Використання звичайних транспортних засобів, що працюють виключно на викопному паливі (бензині та дизелі, мазуті), має поступово виключатися з обігу.
3. Муніципалітети мають на практиці забезпечити реалізацію до 2020 року положень Національного плану дій з відновлювальної енергетики на період, згідно з яким має бути забезпечений розвиток транспорту на таких видах відновлювального палива як електроенергія з відновлювальних джерел, біодизель та біоетанол у відповідності до встановлених цільових показників.
4. Впровадження нових технологій в муніципальному транспорті та використання відновлювальних видів палива замість традиційного викопного палива потребує поступового приведення до ринкового рівня тарифів на перевезення пасажирів в рамках реформи муніципального транспорту.
5. Муніципалітети мають розвивати інфраструктуру для нових видів транспорту, що стимулюватиме його модернізацію.
6. Слід оптимізувати загальну існуючу систему громадського транспорту, що має потенціал до значного покращення енергоефективності за рахунок запровадження низки заходів, як наприклад, автоматизація процесу управління, оптимізація структури парку транспортних засобів за пасажиромісткістю, оптимізація маршрутів руху транспортних засобів тощо.
7. В українських містах вже сьогодні можна рекомендувати ширше використання електробусів, а також гібридних та біопаливних автомобілів як конкурентоспроможних сучасних технологій.

4

НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

Аналіз поточного стану зовнішнього освітлення в Україні показує, за невеликим винятком, незадовільний стан для великих міст і майже критичний для районних центрів і селищ. Близько 90% вуличних світильників не відповідає сучасним вимогам та нормативам. Через низьку ефективність світильників і джерел світла, що в них встановлені, питома вага витрат електроенергії на освітлення в Україні в 1,7 рази вища, ніж в розвинених країнах. Основними причинами такого стану є:

- експлуатація старих, фізично зношених світильників, в яких характеристики відбивачів і розсіювачів значно знизилась, коефіцієнт корисної дії зменшився до 25–40%;
- використання в світильниках малоефективних джерел світла;
- експлуатація світильників з нераціональним розподілом світла;
- невиконання періодичних заходів забезпечення належного світлотехнічного стану засобів освітлення.

В Україні щорічно споживається близько 150 млрд. кВт·год електроенергії (станом на 2014 р.). В індустріальних країнах частка електроенергії, що витрачається на зовнішнє вуличне освітлення, коливається в діапазоні від 5 до 15%. Для України ця величина складає 15-20%. Навіть якщо прийняти цю величину за 15%, то річне споживання складе 22,5 млрд. кВт·год.



Рис. 4.1 Розподіл кількості світильників в Україні за сферою використання

Загальна потужність всіх джерел світла, які використовуються в Україні для внутрішнього та зовнішнього освітлення, складає 4100 МВт. При цьому більша частина цієї потужності припадає на лампи розжарювання, зокрема на ті, що використовуються для внутрішнього освітлення державних установ (близько 18%) та населенням (близько 74%). Загальна кількість світильників, які використовуються в Україні, складає близько 326,5 млн. штук (рис. 4.1). Тому заміна цих ламп на енергоощадні має значний потенціал.

Великий обсяг використання освітлювальних приладів у житлово-комунальній сфері, які застосовуються як для внутрішнього, так і для зовнішнього освітлення. За попередніми оцінками загальна кількість світильників, які використовуються у муніципальному секторі складає 12,5 млн. штук.

За даними комунальних підприємств «Міськвітло» різних обласних центрів України, а також районних держадміністрацій середня кількість вуличних світильників на одиницю площі складає 1000 світильників на 1 км² для обласних міст, близько 500 світильників для інших міст, 200 світильників для селищ міського типу та не менше 50 світильників для кожного села.

Враховуючи те, що кількість обласних центрів України складає 24 (загальна площа 4486 км²), кількість інших міст — 458, селищ міського типу — 884 та 28564 села, загальна кількість вуличних світильників для освітлення цих територій складає близько 2,3 млн. штук.

Станом на початок 2014 р. загальна протяжність мереж штучного освітлення автомобільних доріг, підпорядкованих Укравтодору, складала майже 800 кілометрів, а обсяг споживання електроенергії на забезпечення освітлення дорівнював приблизно 12,4 млн. кВт·год в рік. При цьому треба відзначити, що близько 20% протяжності наявних мереж освітлення з різних причин не працюють, а рівні освітленості та яскравості дорожнього покриття часто не відповідають вимогам чинних стандартів і норм. Окремо потрібно зазначити на відсутність освітлення в місцях та ділян-

ках доріг, де воно необхідне згідно з вимогами чинних нормативно-законодавчих актів. На поточний час основними користувачами освітлювальної техніки є наступні категорії:

- державний сектор та населення. Користуються переважно лампами розжарювання середньою потужністю 60 Вт та компактними люмінесцентними лампами потужністю 12 Вт для внутрішнього освітлення, а також газорозрядними лампами для зовнішнього освітлення;
- промисловість приватного або державного сектору. Використовуються лампи розжарювання, люмінесцентні та газорозрядні лампи для внутрішнього та зовнішнього освітлення;
- муніципальні об'єкти. Застосовуються натрієві та ртутні газорозрядні лампи (ДНаТ, ДРЛ) для освітлення вулиць населених пунктів, а також лампи розжарювання та люмінесцентні світильники для внутрішнього освітлення.

Наведений короткий огляд стану внутрішнього та зовнішнього освітлення в Україні показує необхідність впровадження і розвитку сучасних перспективних систем освітлення на основі останніх досягнень науки і техніки, напівпровідникового приладобудування, оптики і електроніки з метою досягнення більш комфортних умов праці та підвищення безпеки дорожнього руху, суттєвого зменшення повної вартості експлуатації систем освітлення, скорочення витрат електроенергії на освітлення та покращення якості штучного світлового середовища в цілому.

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ЛАМП

Зважаючи на кількість та тип освітлювальних приладів, які використовуються в Україні, пропонується їх заміна на енергоефективні світлодіодні лампи, сучасні компактні люмінесцентні лампи, а також безелектродні індукційні лампи.

Найбільш сучасними, технологічними та енергоефективними є світлодіодні системи освітлення (LED). Головні переваги LED-ламп, на яких наголошують виробники, – це екологічність та економність: на відміну від люмінесцентних ламп (ЛЛ) вони не містять ртуті та забезпечують близько 50 000 годин експлуатації (рис. 4.2).

При правильному використанні та стабільному струмі LED-лампи можуть працювати майже 7 років, а ЛЛ – близько 2 років. Основна відмінність – ціна ламп. ЛЛ коштують приблизно 25 грн., а світлодіодні – 80-250 грн.



Рис. 4.2 – Світлодіодні лампи

Також світловий потік не завжди відповідає реальній світловіддачі та з часом знижується: у ЛЛ – на 15-37 %, у LED – до 20 %. Не зважаючи на порівняно високу вартість світлодіодних ламп та світильників на їх основі, останнім часом технології їх виробництва удосконалюються, що сприяє зниженню вартості ламп. Також зниженню вартості LED-ламп сприяє організація виробничого процесу в Україні з використанням вітчизняних ресурсів.

LED-лампи до кінця терміну експлуатації не втрачають температури кольору, а в деяких випадках цей показник навіть зростає. Світлодіод випромінює у вузькій частині спектру чистий колір, а УФ-випромінення, зазвичай, відсутнє. Також світлодіодні лампи нагріваються менше, ніж ЛЛ: 40 °С проти 60 °С відповідно. Хоча, чим більший струм проходить через LED в процесі експлуатації, тим вища температура світлодіода, і тим швидше втрачається якість освітлення. А от при зниженні струму і температури лампа працює без збоїв. Стійкість до низьких температур – одна з важливих переваг LED. Відомо, що на морозі всередині ЛЛ ртуть замерзає, що призводить до зниження яскравості освітлення. Спектр випромінювання світлодіодних ламп більше наближений до натурального, ніж спектр ЛЛ, які характеризуються «холодним світлом». Даний тип ламп володіє необмеженим запасом циклів вмикань/вимикань.

Переваги і недоліки світлодіодних ламп пояснюються їх конструкцією. Для багатьох споживачів важливим є така перевага, як енергозбереження. Світлодіодні лампи більш ніж в 2,5...3 разів економніші, ніж компактні енергозберігаючі лампи та у 10 разів, ніж лампи розжарювання і мають найкращий рівень енергоефективності (Рис. 4.3). Забезпечуючи таку ж саму світлову віддачу, як і лампа розжарювання потужністю 60 Вт, світлодіодна лампа споживає всього 3...4 Вт. Також важливо, що деякі з типів світлодіодних ламп здатні прослужити до 100 тисяч годин, що призводить до зменшення кількості їх заміни і дозволяє заощадити чималі

кошти на обслуговуванні освітлення. Світлодіодні лампи виявляють підвищені характеристики міцності і стійкості до будь-яких механічних впливів і вібрації, так як корпус такої лампочки виготовляється з міцного небиткого пластику і алюмінію. Світлодіодні лампи мають прекрасні показники екологічної безпеки з огляду на те, що вони не містять ртуті та інших шкідливих для людського організму і навколишнього середовища речовин. Світлодіод є низьковольтним приладом, який майже не нагрівається. Тому використання таких ламп в дитячій кімнаті, навчальних закладах та інших приміщеннях де електро- та пожежо-безпеки відіграють велику роль є найбільш оптимальним та безпечним рішенням. Важливою перевагою є і те, що при використанні світлодіодної лампи відсутні шум, пульсація, пускові кидки струму тощо.



Рис. 4.3 Градація ефективності освітлювальних ламп

Світлодіод - це напівпровідниковий прилад, що здатен перетворювати електричну енергію безпосередньо у світлову. За своєю структурою, світлодіод подібний до звичайного напівпровідникового діоду, так само як і будь який напівпровідниковий діод, світлодіод має властивість односторонньої електропровідності, але, при протіканні електричного струму у «прямому» напрямі, на кристалі, в зоні контакту напівпровідників різного типу провідності, виникає світіння.

Світлодіодна лампа складається (рис. 4.4) з розсіювача, власне світлодіодів, плати, на яку вони монтується, радіатора для охолодження світлодіодів, драйвера, вентиляційних отворів для циркуляції повітря, цоколя.

В якості основного джерела світла в конструкції джерела світла використовуються світлодіоди різної потужності. Вони розташовуються на монтажній платі, яка підключена до керуючих елементів приладу. Останні необхідні для перетворення параметрів струму і забезпечують роботу лампи.

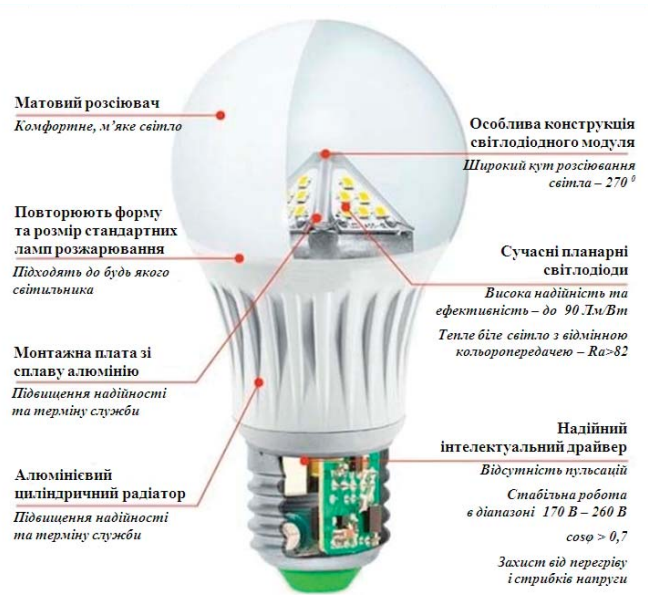


Рис. 4.4 Конструктивні особливості світлодіодної лампи

Якщо порівнювати з іншими джерелами світла, які працюють за допомогою електрики, то сучасні світлодіоди мають ряд відмінностей і переваг. Нижче наведені основні характеристики сучасних LED (рис. 4.5):



Рис. 4.5 Основні переваги LED ламп

- низька вартість і не великі витрати на експлуатацію. Внаслідок використання світлодіодів економія на обслуговуванні і заміні ламп у вуличних та промислових світлодіодних світильниках найчастіше перевищує економію на електроенергії;
- економія. Світлодіоди більш ефективно використовують енергію в порівнянні з попередніми поколіннями електричних джерел світла — дуговими, розжарювальними і газорозрядними лампами. Напри-

клад, світлова віддача світлодіодних систем вуличного освітлення досягає 120 лм/Вт (теоретично може досягати навіть 250 лм/Вт), що порівняно з віддачею люмінесцентних ламп — 40-80 лм/Вт і значно перевищує світловіддачу ламп розжарювання — 8-18 лм/Вт;

- великий термін служби (від 30 000 до 100 000 годин), що в десятки разів більше порівняно з номінальним терміном служби ламп розжарювання загального призначення і в кілька разів більше, ніж у більшості люмінесцентних ламп;
- спектральна чистота випромінювання досягається за рахунок самого принципу роботи діода, а не за допомогою оптичних фільтрів, що дає можливість отримувати за допомогою LED технологій необхідні спектральні характеристики. Спектр білих світлодіодів може змінюватиметься від тепло з температурою 2700 К до холодного білого 6500 К;
- за допомогою мікролінз досягається різний кут випромінювання — від 15 до 180

градусів;

- кількість циклів вмикань-вимикань не надто впливають на термін служби світлодіодів (на відміну від традиційних джерел світла — ламп розжарювання, газорозрядних ламп);
- мала інерційність, тобто LED світильники досягають практично миттєво повної яскравості, тоді як для інших джерел світла час вмикання може становити від 1 с до кількох хвилин, а максимальна яскравість залежно від температури навколишнього середовища досягається за 3-10 хвилин;
- для світлодіодів характерна підвищена механічна міцність і вібростійкість, завдяки відсутності спіралі розжарювання, а також слабка чутливість до низьких і дуже низьких температур;
- екологічна чистота — в LED світильниках відсутні ртуть, фосфор і не випромінюється ультрафіолетове випромінювання на відміну від люмінесцентних ламп.

Основні переваги та недоліки світлодіодних ламп наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Переваги та недоліки світлодіодних ламп

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – низьке енергоспоживання: 10 % енергії, яку б використала лампа розжарювання, та не більше 50 % від споживання люмінесцентних ламп; – тривалий час експлуатації: до 50 000 годин; – високий ресурс стійкості: ударна та вібраційна витривалість; – чистота і різноманітність кольорів; – направленість випромінювання: немає втрат світлового потоку (відсутні втрати в рефлекторі, світлодіод не освітлює простір позаду себе); – можливе регулювання інтенсивності освітлення: сумісні з регуляторами яскравості, вимикачами з підсвіткою, датчиками руху, фотоелементами, таймерами тощо; – низька робоча напруга; – низькі витрати на експлуатацію освітлюваних приладів: за рахунок більш тривалого часу між змінами ламп відпадає потреба в додаткових спеціалістах. – екологічна і протипожежна безпека; – не викликає втоми очей (відсутність мерехтіння); – відсутня необхідність спеціальної утилізації (на відміну від люмінесцентних та інших ламп); – відсутній ефекту стробоскопу; – працюють при низьких температурах (на відміну від люмінесцентних); – широкий спектр потужності (можна обрати будь-яку); – максимальний світловий потік досягається одразу після вмикання; – високий рівень передачі кольору. 	<ul style="list-style-type: none"> – світловий потік, вказаний на упаковці, не завжди відповідає реальній світловіддачі та з часом знижується: у ЛЛ – на 15-37 %, у LED – до 20 %; – висока ціна: від 80 до 250 грн. (вартість вуличних світильників коливається у межах 3000-7000 грн.); – чутливість до герметично закритих корпусів та високої вологості.

На сьогоднішній день промисловістю випускаються світлодіодні лампи, які адаптовані до існуючих світильників, які можна використовувати без заміни самого світильника. Зокрема світлодіодні лампи випускаються (рис. 4.6):

- з цоколями E27 та E14, які розповсюджені у побуті та можуть бути використані замість звичайних ламп розжарювання;
- з цоколями E40, які використовуються у вуличних світильниках;
- для використання у стельових світильниках денного освітлення, які широко використовуються у різних закладах.

Звичайні лампи



Світлодіодні лампи (аналоги)



Рис. 4.6 Аналоги звичайних та світлодіодних ламп

Крім світлодіодних ламп для внутрішнього та зовнішнього освітлення останнім часом досить широко застосовуються світлодіодні світильники (рис. 4.7).

Зокрема для внутрішнього денного освітлення приміщень застосовуються стельові світильники з світлодіодами, за розміром аналогічні світильникам з люмінесцентними лампами або газоразрядним світильникам типу «Армстронг» (600 мм x 600 мм). Такі світильники вмонтовуються в стелю на місце існуючих.



Рис. 4.7 Світлодіодні світильники для внутрішнього та зовнішнього освітлення

Для зовнішнього освітлення застосовуються вуличні світлодіодні світильники. На сьогоднішній день такі світильники випускаються різних типів та модифікацій. Для автономної роботи (зокрема на віддалених ділянках) вуличні світильники також можуть комплектуватися сонячною батареєю, яка вдень за рахунок сонячного випромінювання заряджається, а вночі накопичена енергія використовується для живлення світильника. Зважаючи на категорії користувачів освітлювальної техніки (державний сектор та населення, промисловість, муніципальні об'єкти тощо) Інститутом фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАНУ оцінено потенціал впровадження енергоощадних освітлювальних приладів в Україні, а також економію електроенергії (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Потенціал впровадження енергоощадних освітлювальних приладів

Існуючі лампи			Енергоощадні лампи			
Назва освітлювального пристрою	Сфера застосування	Кількість, млн. шт.	Тип ламп	Енергетична ефективність, лм/Вт	Строк служби, тис. годин	Ціна на 1 Вт, грн.*
Лампи розжарювання (цоколь E27), 60 Вт	Населення (80 %)	240	LED лампи	120	50	30
			5 Вт			
			КЛЛ 12 Вт	50	8	3
	Державний сектор (20 %)	60	LED лампи	120	50	30
			5 Вт			
			КЛЛ 12 Вт	50	8	3
Натрієві газорозрядні лампи ДНаТ, 270 Вт	Вуличні світильники для населених пунктів	1,15	LED світильники 100 Вт	120	50	30
		1,15	Світильники на БІЛ, 140 Вт	85	50	13
Люмінесцентні лампи, 2x18 Вт	Світильники для житлово-комунальної сфери	2,1	LED світильники 10 Вт	120	50	30
Світильники на лампах розжарювання, 100 Вт		2,1	LED світильники 10 Вт	120	50	30
		8,3	Світильники на КЛЛ 20 Вт	50	8	2,5
Газорозрядні світильники типу «Армстронг»	Світильники для бюджетної сфери	6	LED світильники стельові 30 Вт	120	50	20
Лампи розжарювання 1000 Вт	Промислова сфера	4,2	Промислові LED світильники 100 Вт	120	50	25
		1,5	Промислові світильники на БІЛ 150 Вт	85	50	13

*станом на 01.01.2014

При впровадженні енергоощадних ламп на заміну існуючих у кількості 326,5 млн. одиниць, існує можливість щорічно економити 40 млрд. кВт-год електроенергії, а також скоротити викиди парникових газів, які утворюються при її виробництві в обсязі майже на 49 млн. т CO₂ екв/рік. Сьогодні на ринку України представлена значна кількість виробників світлодіодної продукції, у тому числі вітчизняних. Основними українськими виробниками енергоощадної світлотехнічної продукції є

ТОВ «ОСП Корпорація «Ватра», ТОВ «Світлодіодні технології Україна», ТОВ «Екта-Пром», СКТБ Інституту фізики напівпровідників НАНУ, ТОВ «Газоторн-Лайт», ТОВ «Атілос». Серед іноземних виробників світлодіодної продукції на українському ринку представлені такі компанії «General Electric» (США), «Osram», «Bioledex» і «BLV licht» (Німеччина), «Philips» (Голландія), «Sylvania» (Індія), «Оптоган» (Росія). З переліком продукції, яка випускається цими підприємствами, технічними та вартісними

характеристиками можна ознайомитись на Інтернет сайті кожного виробника.

Автоматичне вимкнення приладів освітлення

Істотну економію витрати електроенергії на освітлення можна одержати за допомогою раціональної системи керування освітленням. Такі системи здійснюють включення або відключення освітлювальних приладів при наступних умовах:

- залежно від рівня природної освітленості приміщень (по сигналах фотореле);
- при досягненні певного часу доби (наприклад, по сигналах таймерів);
- при натисканні людиною кнопок керування (наприклад, входячи в під'їзд, людина натискає кнопку, що дає сигнал на включення освітлення, відключення освітлення здійснюється автоматично через заданий інтервал часу);
- при отриманні сигналів від датчиків присутності.

Автоматизовані системи управління освітленням, призначені для використання в громадських будівлях, виконують функції:

1. Точна підтримка штучної освітленості в приміщенні на заданому рівні. Досягається це введенням в систему управління освітленням фотоелемента, який знаходиться усередині приміщення і контролює створювану освітлювальною установкою освітленість.

2. Облік природної освітленості в приміщенні. Незважаючи на наявність у переважній більшості приміщень природного освітлення у світлий час доби, потужність освітлювальної установки розраховується без його урахування.
3. Облік часу доби і дня тижня. Додаткова економія енергії в освітленні може бути досягнута відключенням освітлювальної установки в певні години доби, а також у вихідні і святкові дні. Цей захід дозволяє ефективно боротися з тим, що люди забувають відключити освітлення на робочих місцях перед своїм відходом. Для її реалізації автоматизована система управління освітленням має бути обладнана власним годинником реального часу.
4. Облік присутності людей в приміщенні. При оснащенні системи управління освітленням датчиком присутності можна включати і відключати світильники залежно від того, чи є люди в цьому приміщенні.
5. Дистанційне безпроводне керування освітлювальною установкою. Хоча така функція не є автоматизованою, вона часто присутня в автоматизованих системах управління освітленням завдяки тому, що її реалізація на базі електроніки системи управління освітленням дуже проста, а сама функція додає значну зручність в управлінні установкою.

Основними елементами такої системи є датчик руху, датчик освітленості, блок управління (контролер) та освітлювальні прилади (рис. 4.8).



Рис. 4.8 Система керування освітленням в приміщенні

Принцип роботи системи наступний: присутність людини в приміщенні з установленою системою реєструє датчик руху, і дані про це відправляють на блок управління. Під час отримання цих даних мікроконтролер проводить зчитування інформації з датчика освітленості про рівень природної освітленості. Отримане значення порівнюють із заданим і за відсутності збігу пропорційно коригують величину ін-

тенсивності освітленості. З мікроконтролера інформація про інтенсивність освітлення направляється на електродвигун приводу жалюзі для збільшення природного освітлення або на світильники для ввімкнення штучного освітлення. Основою системи є блок управління на основі мікроконтролера. У якості детектора руху використовують пасивний інфрачервоний сенсор.

Переваги та недоліки автоматизованої системи керування освітленням наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Переваги та недоліки автоматизованої системи керування освітленням

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – зміна колірної температури світла протягом доби, відповідно до змін природного освітлення; – точне підтримання заданого рівня освітленості; – урахування присутності людей; – наявність плавного вмикання джерела світла (за винятком світлодіодів); – невеликі габарити та вага; – модульна конструкція; – низьке енергоспоживання. 	<ul style="list-style-type: none"> – відносно висока вартість; – можливе виникнення незручностей у разі виходу системи з ладу; – можливе виникнення незручностей у разі використання мануального ввімкнення; – у разі використання у громадських місцях, необхідні додаткові заходи для запобігання доступу сторонніх осіб (антивандальні заходи).

ВИСНОВКИ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

Жодна галузь не може функціонувати без електричного освітлення. Важливість створення ефективних джерел світла і покращення систем освітлення в наш час обумовлені сучасними вимогами енергоефективності та енергозбереження.

Ефективною варто вважати таку систему освітлення, яка створює високоякісне освітлення та зберігає свої характеристики протягом тривалої роботи при найменших капітальних та експлуатаційних затратах, в тому числі при мінімальному енергоспоживанні.

Одним з шляхів підвищення енергоефективності та енергозбереження в мережах зовнішнього та внутрішнього освітлення є використання енергозберігаючих ламп. Окрім натрієвих ламп високого тиску, також актуальними є індукційні лампи та лампи на світлодіодах.

Тому застосування сучасних енергоощадних ламп у системах зовнішнього та внутрішнього освітлення у містах і селах України дозволить не тільки організувати якісне штучне освітлення, а й значно заощадити електроенергію, яка витрачається для цих потреб та зекономити кошти.

5

НАЙКРАЩІ ДОСТУПНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ

5.1. Загальна інформація

Населення в світі перевищує 7 мільярдів осіб та за прогнозами до 2050 року досягне 9 мільярдів, разом з тим зростають і вимоги до якості життя та навколишнього середовища, перш за все завдяки збільшенню середнього класу в країнах, що розвиваються¹. На рис. 5.1 зображений графік прогнозованого зростання кількості утворення ТПВ у країнах, що розвиваються до 2020 р., а саме країн, які є та не є членами Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Кожного року населення планети утворює більше 2 млрд. т твердих побутових відходів (ТПВ), якщо суспільство утворюватиме ТПВ такими ж темпами, як найбагатші міста країн з високим рівнем доходу, то до 2025 року щорічно утворюватиметься 7 млрд. т відходів.

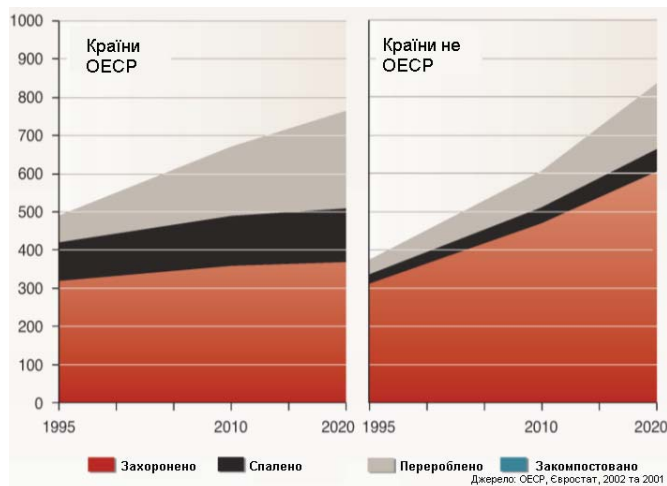


Рис. 5.1 Прогнозоване зростання кількості утворення ТПВ у країнах, що розвиваються до 2020 р.

Відповідно до даних Держкомстату України, у 2013 р. в Україні було утворено близько 450 млн. т відходів різних класів небезпечності. Типовий морфологічний склад міських ТПВ наведено на рис. 5.2. Сьогодні правові, організаційні та економічні засади діяльності в Україні, пов'язаної із запобіганням або зменшенням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, сортуванням, обробленням,

утилізацією та видаленням, знешкодженням та захороненням визначаються положеннями Закону України «Про відходи»². Також варто зауважити, що у Договорі про Асоціацію України з ЄС зазначено, що Україна повинна впровадити положення Директиви 2008/98/ЄС про відходи.

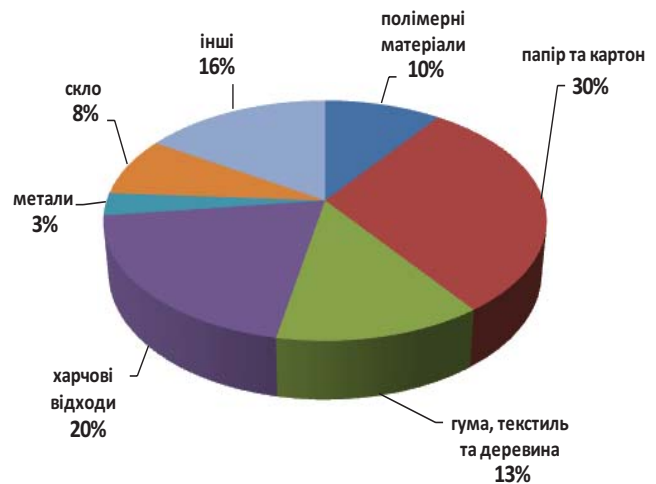


Рис. 5.2 Типовий склад твердих міських побутових відходів

Швидке зростання чисельності населення, високий рівень урбанізації та економічного розвитку вимагають серйозних випробувань для процесу поводження з ТПВ (див. рис. 5.2) та ролі комплексного поводження з відходами (КПВ) з метою забезпечення охорони навколишнього середовища, в тому числі повітря, вод та ґрунтів, від забруднення відходами, охорони здоров'я населення, максимізації елементів додатної вартості (енергія та вторинна сировина).

З метою вирішення глобальної проблеми з відходами, міста та відповідні органи влади концентрують увагу на розробці та впровадженні різних стратегій КПВ для довготривалого управління відходами. Основні елементи КПВ, від більш (зверху) до менш (донизу) пріоритетних, зображені на рис. 5.4.

¹ <http://www.prb.org/pdf11/prb-population-handbook-2011.pdf>

² <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>

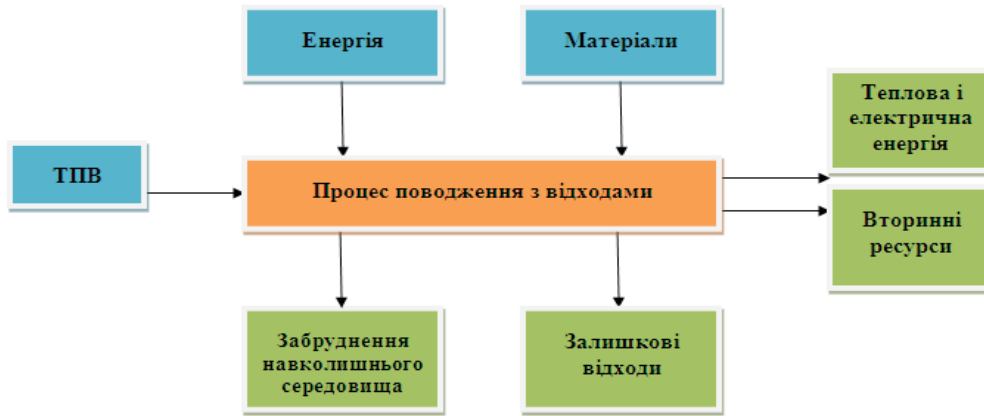


Рис 5.3 - Життєвий цикл процесу поводження з відходами



Рис 5.4 Основні елементи процесу комплексного поводження з ТПВ

Зменшення кількості відходів та повторне їх використання є найголовнішими елементами ієрархії управління ТПВ, під цим також розуміють скорочення кількості джерел утворення відходів, уникнення чи попередження утворення відходів. Визнаючи, що найбільш ефективним шляхом зменшення впливу від управління відходами є зменшення кілько-

сті утворених відходів, ці елементи процесу КПВ мають на меті змінити методи виробництва та використання продукції для мінімізації утворення відходів. Наприклад, повторне використання пакувальної продукції для усунення використання надлишкових або зайвих матеріалів, завдяки чому зменшується кількість утворення відходів після використання пакування. Зменшення кількості відходів має подвійну користь – скорочення використання первинної сировини та відповідне скорочення фінансових витрат та витрат енергії, а також зменшення обсягів відходів, які потребують поводження. Цей елемент процесу зберігає ресурси; зменшує витрати на КПВ та забруднення, включаючи викиди ПГ; та вчить, як запобігати та попереджати утворення відходів³.

У цьому розділі буде розглянуто більш детально такі елементи ієрархії КПВ, як рециклінг, використання ТПВ для виробництва енергії та захоронення ТПВ з метою виробництва зваличного газу (ЗГ).

5.2. Роздільний збір та рециклінг твердих побутових відходів

Рециклінг (переробка) включає збір використаних матеріалів та переробку, або вторинне виробництво корисних продуктів чи матеріалів з них. Рециклінгу передують роздільне збирання або сортування ТПВ. Слід однак зазначити, що якість сортування значною мірою залежить від загальної культури і дисциплінованості населення. В Україні сьогодні роблять лише перші спроби впровадити роздільне збирання ТПВ, у містах все частіше можна зустріти контейнери для різних типів відходів (рис. 5.5).



Рис 5.5 Контейнери для роздільного збору ТПВ

³ http://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/_temp_/Small_GHG_white_paper_01.pdf

Після сортування вилучені компоненти, придатні для повторного використання, переробляють, виготовляючи товарний продукт. Для цього необхідно створити та розвивати спеціальну високоефективну індустрію, яка працює на вторинній сировині.



Рис 5.6 Збір та пакування пластикової вторинної сировини

Перероблені матеріали, такі як метал, папір, пластик та деревина скорочують кількість викидів парникових газів (ПГ) шляхом зменшення кількості ТПВ, які потребують захоронення та надають заміну первинним сировинним ресурсам для виробництва продукції. Використання перероблених матеріалів також ско-

рочує викиди ПГ від видобування, транспортування та обробки первинних сировинних ресурсів. Рециклінг забезпечує використання цінних ресурсів та не дозволяє їм потрапити на звалище. Рециклінг може бути реалізований шляхом роздільного збирання вторинної сировини з домашніх господарств і підприємств (розподіл джерел) або розподілу змішаних відходів для виявлення матеріалів для переробки на установці переробки матеріалів (УПМ) перед їх передачею підприємству для подальшого виробництва енергії чи на полігон. Рециклінг потребує споживання енергії для транспортування, переробки та повторного виробництва матеріалів, але, як правило, потребує менше енергії, ніж для виробництва з первинних сировинних ресурсів.

Так як однією із провідних країн, які активно повторно використовують відходи є Японія (до 20% всіх ТПВ), вона запровадила політику 3R (англ. Reduce, Reuse, Recycle, укр. – зменшення, повторне використання, рециклінг) та успішно переробляє поліетилентерефталатові (ПЕТ) пляшки та побутову техніку. Зібрані пляшки очищаються, кришки та етикетки вилучаються для покращення їх якості. Потім пляшки стискаються, зв'язуються і передаються на переробку (рис. 5.6). ПЕТ пляшки високої якості використовуються для повторного виробництва пляшок, або ж інших видів продукції, наприклад, текстильної: нитки, тканини, одяг, килими, згідно високотехнологічних рішень. В Україні теж давно застосовують цей метод переробки пластику, однак поки система не функціонує належним чином.

5.3. Утилізація твердих побутових відходів з метою отримання енергії

Використання відходів для отримання енергії (ВОЕ) є ефективним способом перетворювати відходи в енергію та значно скорочувати їх кількість та частку органічних речовин, розміщених на полігонах, що в свою чергу знижує темпи виробництва звалищного метану. Цей метод передбачає контрольоване спалювання відходів у сучасному котлі, обладнаному пристроями контролю за забруднюючими речовинами, який виробляє пар, або електроенергію. Інші технології включають газифікацію, плазмову газифікацію та піроліз. Енергія, вироблена таким способом, знижує попит на енергію, яка вироблена завдяки використанню викопного палива, що в свою чергу впливає на скорочення викидів парникових газів.

СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Спалювання є найбільш технічно відпрацьованим серед усіх методів промислового перероблення ТПВ. З моменту винайдення цього методу техніку та технологію спалювання весь час удосконалювали. В своєму розвитку сміттєспалювальні заводи (ССЗ) пройшли кілька етапів і сьогодні представляють собою складне виробниче підприємство, котре орієнтовано не лише на спалювання ТПВ, а й попутне отримання енергії та попередження забруднення довкілля шкідливими речовинами. В більшості випадків спалювання ТПВ відбувається наступним чином⁴. Сміттєвозами ТПВ накопичуються у бункері, звідки по спу-

⁴ В.М. Радовенчик, М.Д. Гомеля. Тверді побутові відходи: збір, переробка, складування/Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2010. – 552 с.

сковому жолобу потрапляють на решітки, де власне і відбувається їх спалювання (рис. 5.7). Приймальний бункер повинен бути достатньої ємкості для забезпечення нормальних умов функціонування ССЗ. Разом з тим, накопиче-

ні ТПВ не можуть зберігатися в бункері довше тижня, а для попередження накопичення в ньому неприємних запахів та вибухових сумішей влаштовується потужна система витяжної вентиляції.

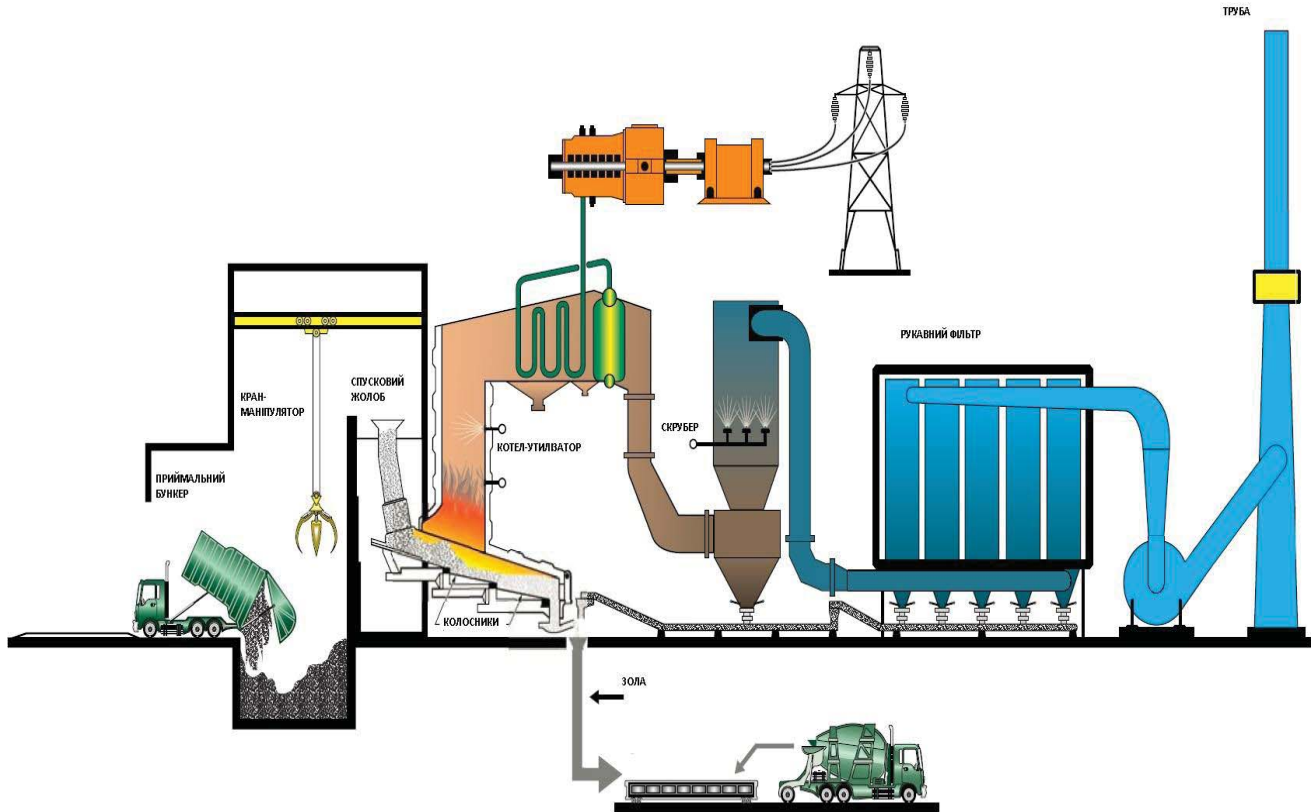


Рис. 5.7 Загальна принципова схема сміттєспалювального заводу

СПАЛЮВАННЯ ТПВ НА КОЛОСНИКОВИХ РЕШІТКАХ

Найбільшого поширення сьогодні набуло пошарове спалювання ТПВ на колосникових решітках (рис. 3.9). Колосникові решітки служать для механізації подачі ТПВ в топку, розділення шлаку та маси відходів, видалення золи, аерації відходів в процесі спалювання, підсушування відходів в першій зоні решітки і т.п. Колосникові решітки експлуатуються при високих температурах в умовах спалювання ТПВ із мінливим морфологічним складом. Окремі складові ТПВ здатні спікатися або переходити в рідкий стан, що також суттєво погіршує умови експлуатації решіток. При цьому решітки повинні забезпечувати максимальний ККД,

бути надійними в роботі та простими в обслуговуванні, забезпечувати винос із відхідними газами мінімальної кількості золи. Сьогодні конкурентоздатними вважаються три типи колосникових решіток - поступально-перештовхуючі, обернено-перештовхуючі та валкові решітки⁵. Найсучасніша технологія спалювання із колосниковими решітками це спалювання з повітряним наддувом, яке сприяє високоефективному виробництву енергії і зараз знаходиться на стадії будівництва в Японії. На рисунку 5.8 нижче наведено приклад найсучаснішої технології з використанням колосникових решіток: установки, яка демонструє високі екологічні показники та показник виробництва енергії.

⁵ В.М. Радовенчик, М.Д. Гомеля. Тверді побутові відходи: збір, переробка, складування/Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2010. – 552 с.

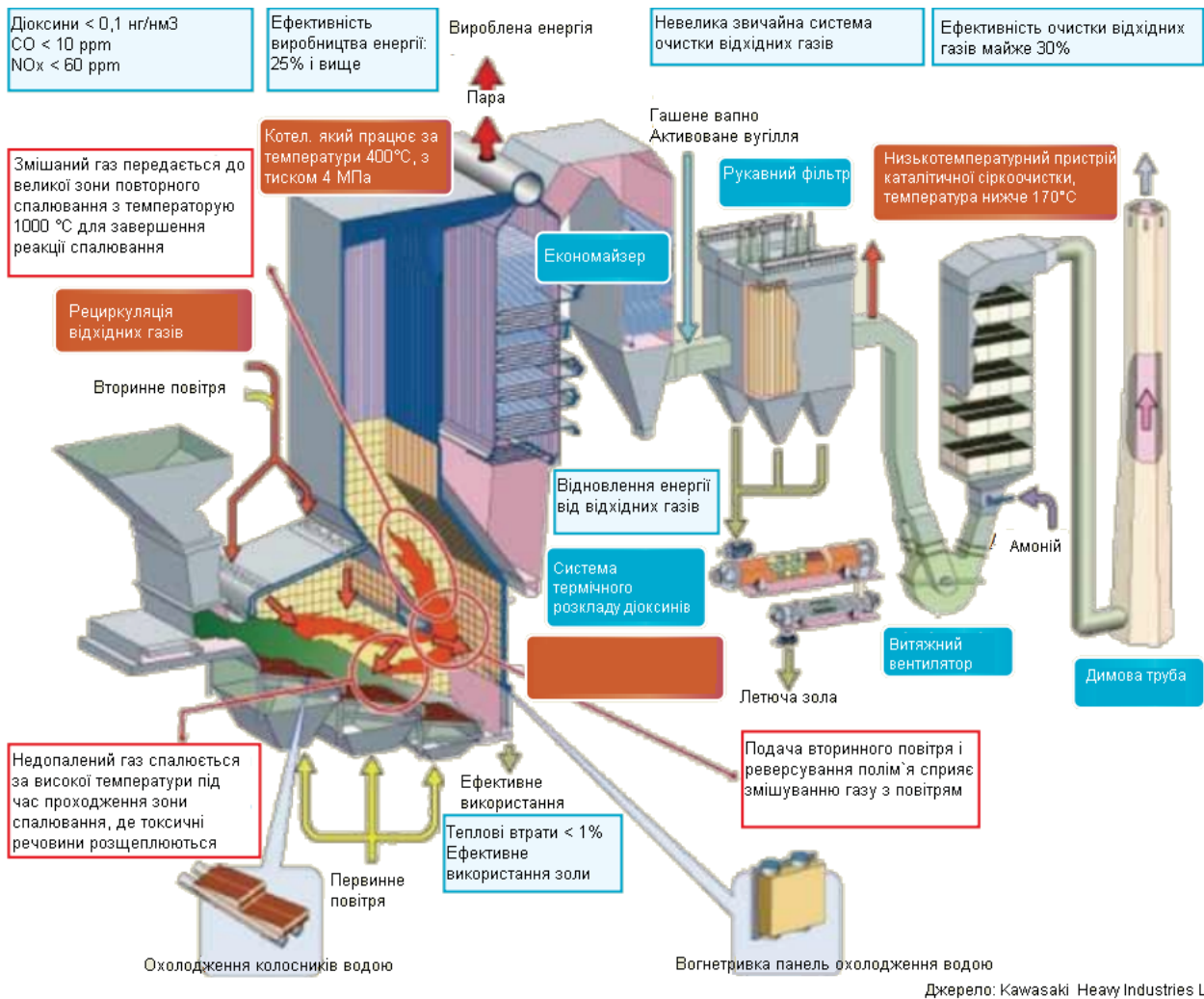


Рис. 5.8 Найсучасніша технологія спалювання із колосниковими решітками⁶

В той час, як розвинулося багато нових технологій, включаючи технологію скорочення кількості викидів діоксинів, видалення кислотного газу та рециклінгу золи, традиційний котел з колосниковими решітками також значно вдосконалився. Високоєфективна технологія спалювання у котлі на колосникових решітках забезпечує виробництво високопотенційної пари для подальшого виробництва електроенергії, одночасно забезпечуючи ефективними

заходами для зменшення викидів парникових газів. Вдосконалення технології наведені на рисунку 5.9. Разом з вдосконаленням використання відхідного тепла після спалювання, ця система дає можливість ефективно виробляти чисту енергію порівняно з традиційним методом.

Переваги і недоліки сучасного методу спалювання ТПВ на колосникових решітках наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Переваги і недоліки спалювання твердих побутових відходів

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> дає змогу отримувати електроенергію і тепло. 	<ul style="list-style-type: none"> потребує додаткових засобів для очистки забруднюючих речовин (наприклад, рукавні фільтри, застосування гашеного вапна, активованого вугілля); необхідно забезпечити утилізацію золи; необхідно впровадити систему постійно моніторингу та контролю за викидами забруднюючих речовин.

⁶ http://global.kawasaki.com/en/industrial_equipment/environment_recycling/waste/heat.html

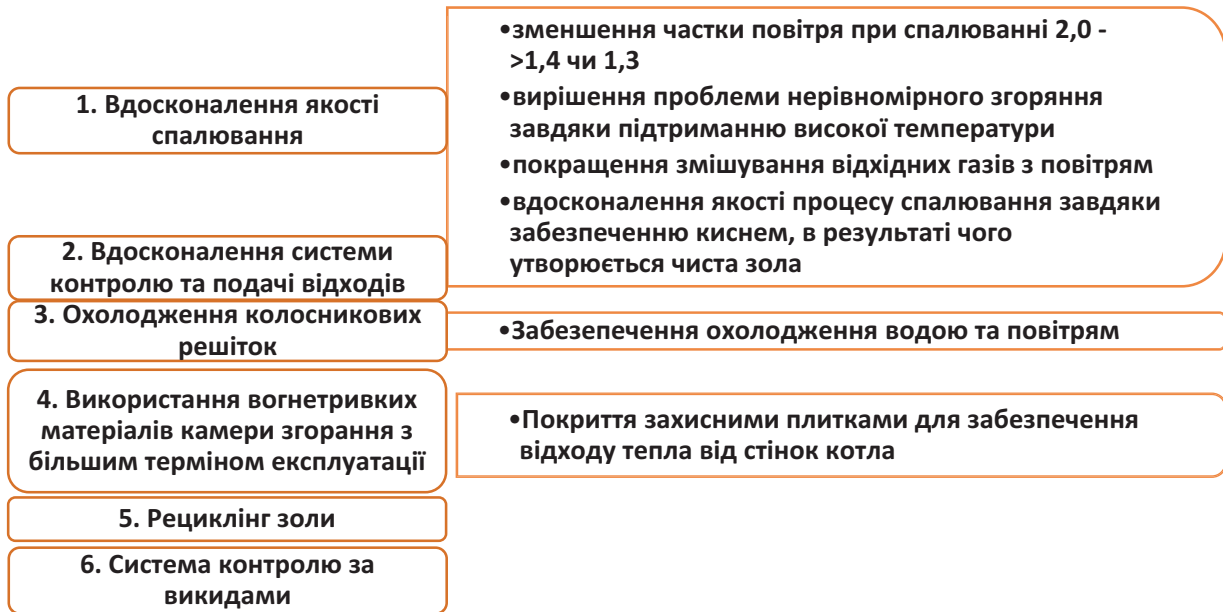


Рис. 5.9 Вдосконалення технології спалювання ТПВ

СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Суть методу полягає в тому, що нагріте повітря вдувається в топку знизу вгору під визначеною швидкістю, завдяки чому в топці формується шар із завислих часток дрібнозернистого піску, котрий виконує роль теплоносія. За своїми властивостями шар нагадує киплячу рідину і його поведінка може бути описана законами гідродинаміки. Пісок киплячого шару нагрівають спеціальними пальниками до 750-800 °С і починають подавати в шар подрібнені ТПВ. За рахунок постійного руху часток у киплячому шарі шматки ТПВ ще більше подрібнюються, а за рахунок хорошої теплопровідності піску - швидко згоряють рівномірно по всьому об'єму киплячого шару.

Отримане в результаті спалювання тепло акумулюється в киплячому шарі, що дозволяє працювати в автогенному режимі без підводу зовнішнього тепла. Сьогодні розрізняють три основні типи киплячого шару - *стаціонарний, вихровий та циркуляційний*⁷. На рисунку 5.10 наведена технологія спалювання ТПВ компанії Kawasaki Heavy Industries, Ltd. з вихровим киплячим шаром⁸. З використанням японської технології спалювання ТПВ, цей метод поводження з відходами зарекомендував себе як безпечний і під час планування будівництва таких підприємств спілкування з громадськістю не завдає багато клопоту, адже населення може бути впевнене щодо мінімальності ризиків спорудження такої установки в урбанізованій та заселеній зоні міста.

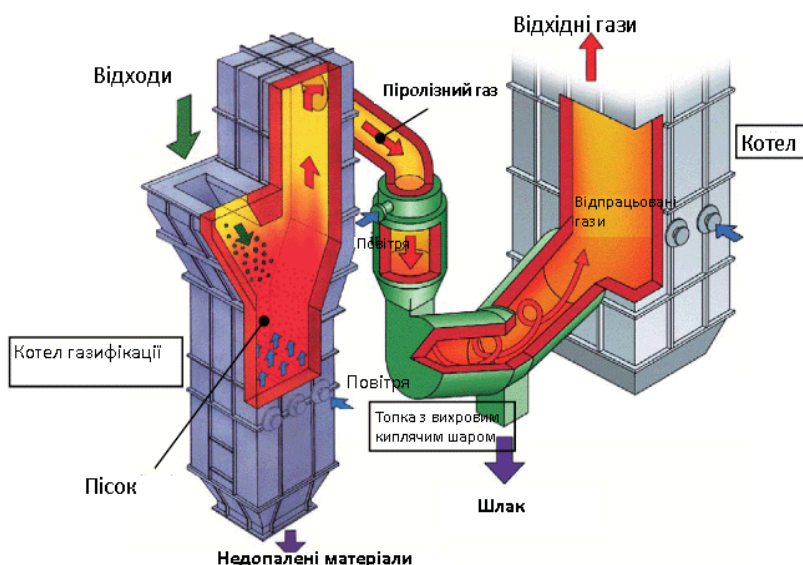


Рис. 5.10 Технологія спалювання ТПВ компанії Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

Переваги і недоліки сміттєспалювального обладнання з киплячим шаром наведені в таблиці 5.2.

⁷ Систер В.Г., Мирный А.Н. Современные технологии обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов. М.: Акад. коммун. хоз-ва им. им. К.Д. Памфилова, 2003, С. 303.

⁸ http://global.kawasaki.com/en/industrial_equipment/environment_recycling/waste/heat.html

Таблиця 5.2

Переваги і недоліки сміттєспалювального обладнання з киплячим шаром

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> – відсутність рухомих частин та механізмів; – більша інтенсивність згоряння відходів; – нижча (на 25-40 %) кількість оксидів азоту, що утворюються в процесі спалювання; – більша продуктивність в порівнянні із топками шарового спалювання; – нижча (на 50-100 °С) температура спалювання. 	<ul style="list-style-type: none"> – передбачає попереднє подрібнення відходів до розміру не більше 100 мм, придатне для спалювання відходів із теплотворною здатністю не менше 2450 ккал/кг; – високі капітальні витрати.

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ ЗАВОДІВ



Рис. 5.11 Сміттєспалювальний завод, район Шібуя в Токіо,

У метрополісі Японії – Токіо, є особливий напівпромисловий та напівжитловий район, де утворюється велика кількість ТПВ. У серпні 2001 року був побудований сміттєспалювальний завод поблизу станції Шібуя в центрі району з високим рівнем урбанізації (рис. 5.11). Підприємство було обладнано установкою з потужністю 200 т/день, з чітким дотриманням вимог щодо викидів таких речовин як NO_x , SO_x , диму, діоксинів та інших газів. Сміттєспалювальний завод Шібуя є відносно невеликим, порівняно з іншими аналогічними підприємствами в Токіо, і на ньому використовується котел з киплячим шаром та вихровим потоком. У котлі з киплячим шаром утворюється суспензія із шару піску з повітрям на поді трубчастої печі, для підтримки високої температури, що призводить до ефективного спалювання відходів. Завод у Шібуя обладнаний генератором з паровою турбіною з максимальною потужністю 4200 кВт.

Функціонування сміттєспалювальних заводів, як правило, часто регулюються через центральні контрольні пункти (рис. 5.12) завдяки автоматичній системі управління.



Рис. 5.12 Центральний контрольний пункт сміттєспалювального заводу



Рис. 5.13 Резервуар з відходами, обладнаний маніпулятором

Управління потоком ТПВ всередині резервуару відбувається за допомогою автоматичних маніпуляторів (рис. 5.13). На таких заводах резервуар з відходами відокремлений від кімнати управління маніпулятором скляною перегородкою для запобігання потраплянню запахів.

ІНДИКАТИВНІ ПОКАЗНИКИ ВАРТОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ

На шведських сміттєспалювальних ТЕЦ в середньому з 1 т міських ТПВ отримують 0,6-0,7 МВт електроенергії, а інвестиції в будівництво і пуск енергоблоку з переробки та спалювання побутових відходів (переробна потужність - 35 т/год) складають близько 1 млрд. шведських крон (більше 100 млн. Євро)⁹.

Будівництво комплексу по утилізації ТПВ (модульного типу потужністю 100 тис. Тонн на рік) у м. Харкові потребують капітальних витрат близько 100 млн. грн. - Станом на 2010 рік). Собівартість переробки 1т становить 60 грн. За рахунок повернення на ринок вторинної сировини, отриманої на етапі сортування, дохід підприємства складе 17-20 млн. грн. Отримані в результаті утилізації тепла та електрична потужності складуть відповідно 20 МВт і 9 МВт¹⁰. Для сміттєспалювальних установок (продуктивністю від 100 до 3000 тонн на добу) капітальні витрати в США коливаються від 80 до 100 тис. доларів на одиницю потужності (тонна спалюваних відходів на день). У цю ціну не входить ціна пристроїв підготовки відходів. Експлуатаційні витрати становлять близько 20 доларів за тонну ТПВ. При виборі варіантів утилізації ТПВ слід також мати на увазі, що час, необхідний на проектування і будівництво ССЗ в США, в середньому займає 5-8 років¹¹.

ПІРОЛІЗ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Класичне обладнання із внутрішнім обігрівом для піролізу ТПВ представляє собою реактор, схожий на шахтну піч (рис. 5.14), у верхню частину котрого завантажують ТПВ. Весь робочий об'єм реактора умовно поділяють на кілька зон - висушування відходів (В), їх піролізу (Б), спалювання і плавлення шлаків (А). Для відділення об'єму реактора від атмосфери у верхній його частині влаштовують 2-3 затвори шибєрного типу, котрі відкривають лише в момент завантаження відходів. Завантажені відходи під дією сили тяжіння опускаються вниз реактора. В зоні

(Б) через шар ТПВ проходять горючі гази із зони піролізу та димові гази із зони спалювання. Оскільки гази мають досить високу температуру, під її дією випаровується більшість вологи, що міститься у відходах. Підсушені відходи далі переміщуються в зону піролізу (Б), де відбувається їх розкладання на горючий газ, вуглець та шлак. Горючий газ піднімається в зону В, де змішується з паром і звідки видаляється в конденсатор. В конденсаторі гази охолоджуються та розділяються на рідку смолу та вологу і горючий газ. Вуглець та залишки, що не розкладаються, опускаються в зону горіння та плавлення а, де вуглець згоряє при температурі біля 1600 °С, що призводить до переходу шлаку в рідкий стан і забезпечує можливість видалення його за межі реактора. Для підтримання та стабілізації процесів у реакторі в нижню його частину подається повітря, нагріте до температури 600-900 °С. Повітря в деяких установках пропонують замінювати на інертний або горючий газ чи повертати в реактор піролізні гази. Останній варіант вважається найбільш доцільним. Реактор внутрішнім діаметром 3 м та висотою 15 м дозволяє утилізувати біля 300 т ТПВ за добу.

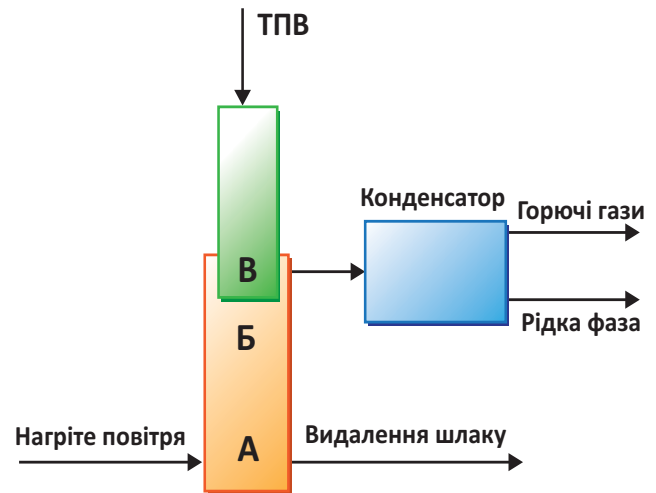


Рис. 5.14 Схема обладнання для піролізу ТПВ

Основні компоненти, характеристики продуктів піролізу та способи їх використання наведені у таблиці 5.3.

Для піролізу використовуються реактори із зовнішнім і внутрішнім обігрівом. Більш перспективними вважаються із зовнішнім обігрівом, так як вони характеризуються високою теплою згоряння, а також містить мінімальну кількість пилу, на відміну від реакторів із внутрішнім обігрівом.

⁹ Митропольский Д. Утилизация мусора по-скандинавски – СтройПРОФИль.- 2007, 5 (59)

¹⁰ Немировский И. А., Переработка ТБО: проблемы и достоинства (часть 2)/ Энергосбережение Энергетика Энергоаудит. -2011.- №8 (90).- С. 31-37.

¹¹ Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход/ О.М.Черп, В.Н.Виниченко - Эколайн, 1996. <http://www.eclife.ru/education/apress/tbo/gl1.php>

Таблиця 5.3

Основні компоненти, характеристики продуктів піролізу та способи їх використання

Назва компоненту	Склад	Теплотворна здатність	Способи застосування
Піролізний газ	– водень, оксид вуглецю, метан	6680-10450 кДж/м ³	
Рідка фаза, що конденсується із піролізного газу	– 20-80 % води; – дьоготь; – нерозчинні оливи, оцтова кислота, метанол та інші органічні речовини.	2330-4660 кДж/дм ³	1. В якості сировини для отримання: – дизельного палива; – бензину; – розчинників; – олів; 2. В якості котельного палива.
Твердий продукт піролізу	– залишки вуглецю; – залишки мінеральної частини відходів.	25630-27960 кДж/кг	1. В якості замітника вуглець-містких природних та синтетичних матеріалів; – як паливо для камінів та грилів в побуті; – матеріал для технологічних потреб. Шлак рекомендується використовувати в будівництві та промисловості.

На сьогоднішній день розроблено метод знешкодження ТПВ під назвою «Пироксэл». Метод включає комбінацію процесів «сушка - піроліз - спалювання - електрошлакова обробка - хіміко-термічне знешкодження газів» і

придатний для утилізації медичних та побутових відходів.

Основні технічні характеристики обладнання технології «Пироксэл» наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Основні технічні характеристики обладнання технології «Пироксэл»

Показник	Одиниця виміру	Тип установки			
		ТПО-1,0	ТПО-2,5	ТПО-10	ТПО-25
Продуктивність	т/рік	1000	2500	10000	25000
Витрата електроенергії	кВт-год/т	225	210	170	130
Витрата додаткового палива	кг у. п./т	400	320	70	20
Витрата повітря	м ³ /год	950	1500	3000	9000
Чисельність персоналу	чол.	6	10	18	25

Переваги процесу «Пироксэл»:

- компактність необхідного обладнання;
- відносно невеликі енергозатрати при можливості утилізації крім ТПВ, відходів промисловості 3, 4 класів небезпеки, полімерних відходів, скла, автошин, гальваношламів, відходів ЛПУ;
- не утворюється токсичних чи забруднених відходів, котрі вимагають додаткової обробки чи захоронення на спеціальних полігонах;
- шлак гранулюється та використовується в якості сировини для отримання різноманітних виробів (переважно шлакового щебеню, наповнювача для легких бетонів, хімічно стійких плиток та блоків для футерувальних робіт), метал передається для подальшого використання відповідним організаціям.
- Розрахунковий прибуток від експлуатації такого обладнання оцінюється розробниками у \$43 за 1 т утилізованих ТПВ.

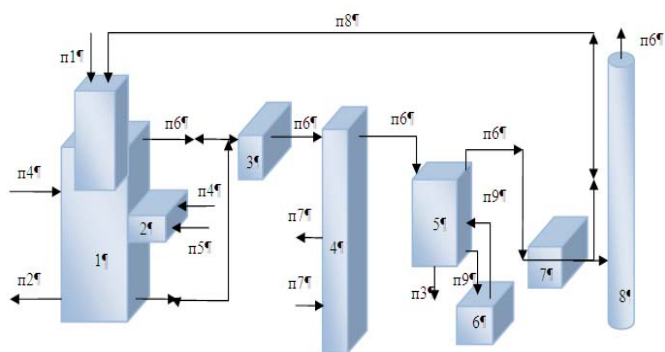


Рис. 5.15 Принципова схема установки «ЭЧУТО - 150.03»

Найбільш відомим обладнанням для піролізу ТПВ на теренах країн СНД сьогодні є установка «ЭЧУТО-150.03» (екологічно чисте знешкодження твердих відходів), (рис. 5.15), головними компонентами якої є, відповідно до схеми 1 - реактор, 2 - пальник, 3 - каталізатор, 4 - теплообмінник, 5 – скруббер, 6 – емульсійний бак, 7 - димосмокт, 8 - димова труба; п1 - відходи, п2 – зола, п3 - шлам, п4 - повітря, п5 - паливо, п6 - димові гази, п7 - відбір тепла, 8 - парагазова суміш, п9 – мастильноохолоджувальна рідина.

Установка має наступні параметри:

- габаритні розміри з площадкою обслуговування, м - 4,0x2,5x2,5;
- продуктивність, м³/добу чи кг/год. - 3,7 чи 50;
- енергоспоживання: електроенергія, кВт·год. - 10,0; дизпаливо, кг/год. - 2,6-5,2;
- тривалість робочого циклу, год. - 1,5-2,0;
- виробництво теплової енергії у вигляді гарячої води, Гкал/год. - 0,03;
- вага установки, кг - 3500;
- висота труби, м - 10
- чисельність обслуговуючого персоналу, 1 чол.

Установка призначена для утилізації не лише ТПВ, а може бути використана для знешкодження медичних відходів класів А, Б, В, пластиків, гуми, нафтошламів тощо. Використання установки найбільш доцільно в невеликих селищах або в місцях утворення окремих видів відходів. Орієнтовний термін окупності установки не перевищує 1 року. Для постійної роботи установка монтується в спеціальному приміщенні висотою не менше 4,5 м, в ангарі легкого типу чи під навісом на освітленому бетонованому майданчику (рис. 5.16).

Аналогічна установка випускається ТОВ «ВП-Сервіс». Установка випускається кількох модифікацій на різну продуктивність. Технічні характеристики різних моделей установки наведені в таблиці 5.5.



Рис. 5.16 – Зовнішній вигляд «ЭЧУТО - 150.03»

Дизпаливо може бути замінено на природний газ. При роботі установки в довілля викидається 0,27 мг/с твердих часток, 0,8 мг/с NO_x, 1,0 мг/с. CO, 0,3 мг/с SO₂, 0,00004 мг/с бенз(а)пірену, 0,0000006 мг/сек. діоксинів та фуранів.

Таблиця 5.5

Технічні характеристики установки «ЭЧУТО-150.03» різної продуктивності

Параметри	Продуктивність		
	20	50	100
Габарити з майданчиком обслуговування, м	2,5x1,6x0,8	4,75x2,06x2,06	6,6x2,06x2,06
Тривалість робочого циклу, год.	1,0-1,5		
Виробництво теплової енергії, Гкал/год.	-	0,03	0,05
Енергоспоживання:	До 4	До 8	До 15
– електроенергія, кВт·год			
– дизпаливо	До 2	До 5	До 12
Висота труби, м	10		
Чисельність обслуговуючого персоналу, чол.	1		
Вага, кг	450	380	5500

Перевагами установки вважається:

- невеликі розміри;
- модульна комплектація;
- очищення димових газів до норм ГДК;
- автоматична система оптимальної витрати палива;
- можливість знешкодження широкого спектра відходів;
- переробка відходів безпосередньо в місцях їх утворення;
- можливість поставки установки в контейнері.

ГАЗИФІКАЦІЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Альтернативою процесові піролізу є процес **газифікації**, що відбувається аналогічно, але за температури 800–1300 °С і за наявності невеликої кількості повітря. У цьому випадку отриманий газ являє собою суміш низькомолекулярних вуглеводнів, які потім спалюють у печі. На жаль, екологічну ситуацію такий процес також не поліпшує, тому що наявність повітря й наявність в смітті хлорорганічних сполук за високої температури призводить до інтенсивного утворення діоксинів, а солі важких металів із процесу не виводяться і потрапляють у навколишнє середовище. Найбільш повна деструкція продуктів, що містяться в ТПВ, відбувається в процесі **високотемпературного піролізу або газифікації** за температури 1650–1930 °С в розплаві мінеральної суміші з добавками металів або за температури до 1700 °С в розплаві солей чи лугів за наявності каталізаторів (MSOP-технологія). Зазначені способи забезпечують перероблення ТПВ практично будь-якого складу, тому що за такої температури повністю руйнуються всі діокси-

ни, фурані і біфеніли. У результаті отримують *синтез-газ* — суміш водню, метану, чадного газу, діоксиду вуглецю, водяної пари, оксидів азоту і сірки та твердий залишок, що його видаляють з реактора через спеціальну витіснювальну систему. Синтез-газ після очищення від домішок можна використовувати безпосередньо як паливо, як сировину у хімічній промисловості або для синтезу рідких вуглеводнів (метанол, бензин).

Цей метод утилізації ТПВ є найбільш перспективним для України, оскільки дозволяє одночасно вирішувати три важливих проблеми сьогодення, що стосуються:

- 1) екологічної безпеки**, оскільки у перспективі дозволить відмовитися від звалищ та полігонів ТПВ у їх сьогоdnішньому вигляді;
- 2) енергетичної безпеки**, оскільки дозволить частково покривати дефіцит рідких та газоподібних вуглеводнів в енергетиці;
- 3) часткового покриття дефіциту вуглеводневої сировини**, що очікується невдовзі у хімічній промисловості.

Одним з прикладом газифікуючої установки є ФДУП «ММВП «Салют», в основі якої лежить метод пароповітряної газифікації в реакторі шахтного типу. Принципова схема наведена на (рис. 5.17), основні компоненти відповідно: 1 - сміттєвози; 2 - бункер для ТПВ; 3 - транспортер; 4 - газифікатор; 5 - бункер для золи; 6 - система відділення рідкої фази та пилу; 7 - котел; 8 - утилізатор та генератор пари; 9 - система нейтралізації та очищення димових газів; 10 - димосмок; 11 - димова труба; а - зона підсушування відходів; б - зона розкладання органічних речовин; в - зона газифікації; г - зона догоряння вуглецю та органічних залишків; д - зона охолодження золи. Зовнішній вигляд зображений на рис. 5.18.

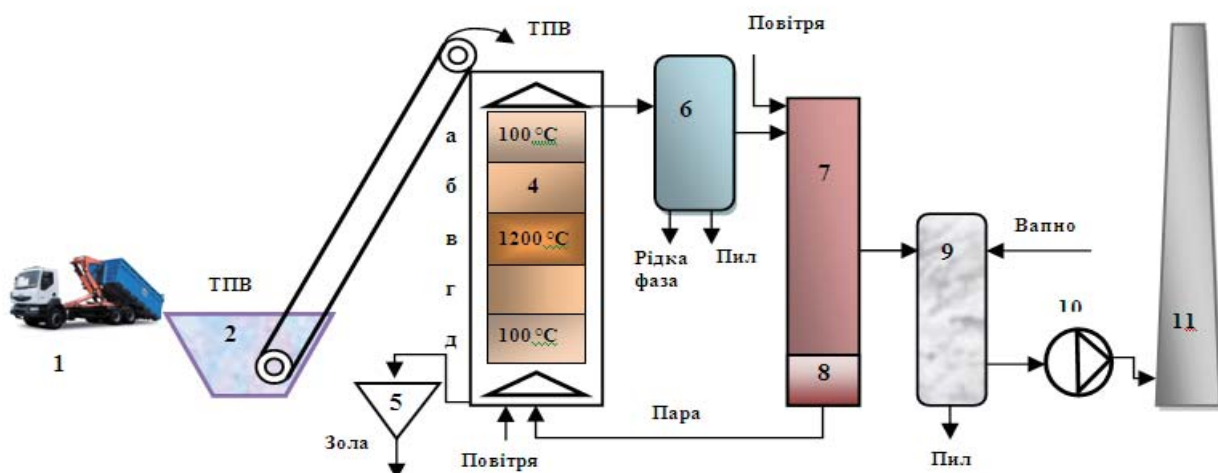


Рис. 5.17 Технологічна схема утилізації ТПВ методом газифікації



Рис. 5.18 – Зовнішній вигляд газифікуючої установки ФДУП «ММВП «Салют»

Крім ТПВ, установка придатна для переробки широкого спектру містких промислових відходів, відходів деревообробки, лікарських, автомобільних шин, полімерів тощо. Перевагами методу є те, що температура вихідних речовин (зола та синтез-газ) мало відрізняється від температури навколишнього середовища, що дозволяє їх подальшу обробку без попереднього охолодження. Основні характеристики установки газифікації ТПВ наведені в таблиці 5.6.

Вважається, що в порівнянні із шаровим спалюванням, газифікація має наступні переваги:

- проходження горючого газу через шар відходів забезпечує для процесу практично повну відсутність виносу золи та осадження шкідливих речовин на шматках відходів і виведення їх із газифікатора в твердому стані із шлаком;
- стабільні високі температури запобігають утворенню діоксинів та фуранів;
- горючий газ та смола можуть бути використані в якості палива чи хімічної сировини;
- значно менший (в 4-5 разів) об'єм газової фази в порівнянні із шаровим спалюванням;
- високий ККД по проміжному енергоносію - 80-90 %;
- завдяки низькій вихідній температурі газу його значно простіше за необхідності очищувати від шкідливих речовин;
- невисока температура шлаків і золи та відсутність в них вуглецю значно спрощує їх подальше транспортування та переробку.

Таблиця 5.6

Основні характеристики установки газифікації ТПВ

Характеристики	Одиниця виміру	Значення
Площа для встановлення	м ²	2 000
Висота	м	19
Продуктивність	т/рік	15 000
Витрата повітря	м ³ /год	1800
Витрата пари	кг/год	700
Калорійність газу	МДж/м ³	4,5-8,5
Теплова потужність	МВт	5
Зольність відходів	%	до 90
ККД	%	до 90
Вологість відходів	%	до 60
Термін безперервної роботи	років	15

КОМПЛЕКСНА УТИЛІЗАЦІЯ ТПВ БЕЗ ПОПЕРЕДНЬОГО СОРТУВАННЯ АБО РОЗДІЛЕННЯ НА ОСНОВІ ІННОВАЦІЙНИХ СПОСОБІВ УТИЛІЗАЦІЇ (ТЕХНОЛОГІЯ УТВОРЕННЯ СУХОГО СТАБІЛЬНОГО ЗАЛИШКУ)

Однією з найбільш сучасних способів поводження з відходами є механіко-біологічний спосіб, який дає змогу повної комплексної утилізації ТПВ щоденного утворення, накопичені застарілі відходи полігонів, промислових відходів та ін. Крім того, ця технологія дає можливість повністю утилізувати всі 100% ТПВ, які постачаються, та отримувати наступні продукти:

- RDF (Refuse-Derived Fuel), (CC3 - сухий стабільний залишок) - альтернативне паливо з теплотворною здатністю в три рази більше, ніж бурого вугілля, в кількості не менше 50% від загального обсягу ТПВ;
- Вода - очищена, придатна для використання в сільському господарстві (зрошення), обслуговуванні потреб заводу тощо, в кількості близько 30% від вступника ТПВ.
- Вторинна сировина: метали, скло, щебінь, в кількості близько 20% від вступника ТПВ.

CC3 використовується в печах цементних заводів, що здешевлює споживання енергоресурсів на 30%. Беручи до уваги, що основну частину витрат у собівартості продукції цементних заводів становлять енергоресурс-

си, використовуючи ССЗ собівартість виробництва цементу зменшується. ССЗ можна ефективно використовувати в ТЕЦ, міні-ТЕС, в твердопаливних котлах-утилізаторах потужністю, яка необхідна для опалення шкіл, дитя-

чих садків, лікарень, комунальної інфраструктури ін.

Принципова схема наведена на рисунку 5.19. За цією технологією ТПВ переробляються механіко-біологічним способом.

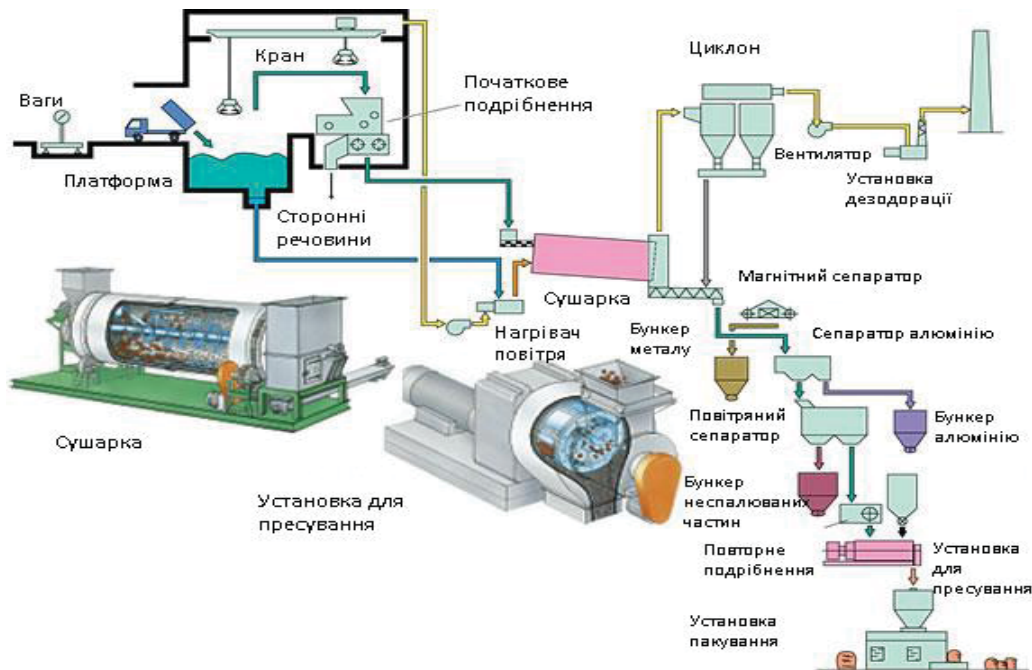


Рис. 5.19 Принципова схема установки для утворення альтернативного палива з твердих побутових відходів – сухого стабільного залишку

За технологією виділяється суха фракція ТПВ після біологічної сушки на автоматичній лінії та розділяються матеріали для повторного використання. Більше 50% ТПВ перетворюється таким чином у високоякісне вторинне паливо, так звану суху фракцію, яка використовується на підприємствах, що виробляють цемент, гіпс і інші будівельні матеріали, а також електростанціях для виробництва енергії.

ТПВ попередньо подрібнюються, що дозволяє в подальшому спростити процес сортування. Заповнення попереднього подрібнювача виконується автоматично краном з комп'ютерним управлінням. Контроль роботи заводського обладнання здійснюється з єдиного диспетчерського пункту одним черговим диспетчером.

Біологічна сушка ТПВ важлива операція подальшої переробки ТПВ. Для розділення та сортування ТПВ необхідно висушити. Наступним етапом є механічна обробка ТПВ. Висушені відходи транспортуються конвеєром до сепараторних агрегатів. Розподіл матеріалів відбувається для частинок різних розмірів на сортувальних пневматичних столах і повітряних сепараторах. Легкі матеріали, такі як папір, дерево, пластмаси, текстиль відокремлю-

ються потоками повітря від важких інертних речовин, таких як скло, кераміка, каміння, метал. Деякі потоки матеріалів для більш ефективного поділу по щільності сепаруються в ще більш вузькі категорії крупності. Це виконується за допомогою віброгрохота. Конструкція подрібнювачів відрізняється високим ККД, довговічністю, а також низькими витратами на технічне обслуговування.

У комплексній комбінації різних матеріалів найчастіше зустрічаються композиційні матеріали, які не піддаються вищенаведеній технології поділу. До них відносяться насамперед використані батарейки і хлорвміщуючі синтетичні матеріали. Як при спалюванні так і розміщенні на звалищі в необробленому вигляді ці матеріали завдають шкоди навколишньому середовищу, тому вони мають бути вилучені вручну і утилізовані за допомогою спеціальних методів. Протягом транспортування сухих відходів виділяється пил. У комплексі з переробки ТПВ цей пил відсмоктується, фільтрується і підмішується до сухої фракції. Після завершення цих біологічних і механічних процесів корисні матеріали, такі як пластмаси, папір і дерево комплектуються в високоякісне паливо ССЗ. У пресах-грануляторах суха

фракція переробляється в пухку масу або granulюється, після чого вантажиться на автомобілі і транспортується для енергетичної утилізації в промислових енергетичних установках. Наприклад, ТЕС на бурому вугіллі. Одержуване паливо ефективно застосовується в печах цементної промисловості.

Енергетичні показники ССЗ:

- Теплота згоряння - 16-22 МДж/кг (буре вугілля- 8,6 МДж/кг);
- Зміст CO_2 - 24 г CO_2 /МДж (буре вугілля -111 г. CO_2 /МДж).
- Висока стабільність при зберіганні;
- Однорідна структура;
- Комп'ютерна програма роботи підприємства забезпечує отримання ССЗ відповідно до вимог теплових станцій, цементних заводів, інших споживачів, за їх затвердженими технічними умовами.

В Україні ініційований проект із впровадження цієї технології поводження з відходами у м. Черкаси компанією «ЭМИК-СТИМ»¹². Орієнтовна вартість проекту – 43,5 млн. євро. Проектна потужність - 130 тис. т в рік.

Переваги

- можливість переробляти будь-які види відходів: ТПВ, промислові відходи;
- можливість переробляти відходи зі старих звалищ (полігонів), незалежно від строків їх існування, що забезпечить мінімізацію витрат місцевих і державного бюджетів на утримання та обслуговування звалищ (полігонів), виділення нових площ для поховань відходів. Крім того, вирішить екологічні проблеми, пов'язані з постійним забрудненням звалищами надр і водних ресурсів;
- відсутні викиди, в т. ч. шкідливі запахи, у навколишнє середовище при роботі підприємства;
- не потрібне додаткове захоронення ТПВ (крім захоронення золи після впалювання одержаного палива);
- не потрібне попереднє глибоке розділення і підготовка ТПВ;
- не потрібне попереднє знезараження і зневоднення ТПВ;
- в результаті утилізації ТПВ створюється альтернативне паливо (ССЗ).

5.4. Захоронення відходів на полігонах та отримання біогазу

ДОБУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ЗГ В УКРАЇНІ

В Україні на полігонах та звалищах накопичується до 98% всього обсягу ТПВ, в яких частка органічних відходів складає близько 40%. В процесі біологічного розпаду органічних ТПВ в анаеробних (без доступу кисню) умовах утворюється біогаз, так званий «звалищний» газ (ЗГ), який складається на 45-50% з метану та має теплотворну здатність до 20 МДж/м³ і є вибухонебезпечним.

Сучасні технології дозволяють забезпечити збирання майже 80-90% обсягу ЗГ, який утворюється на закритих полігонах та полігонах, які продовжують накопичення ТПВ.

З досвіду відомо, що з 1 тони побутових відходів, які містять 50% органічних речовин, можна отримати близько 200 Нм³ ЗГ. Генерація газу досягає свого максимуму через 3-5 років після розміщення ТПВ і поступово зменшується, приблизно на 8% у рік.

ЗГ, який потрапляє до атмосфери є безперечно дуже шкідливим парниковим газом. ЗГ впливає на парниковий ефект в основному завдяки вмісту в ньому метану, оскільки метан є 21 рази більш сильнодіючим парниковим газом ніж вуглекислий газ.

Відповідно до положень Директиви № 1999/31/ЕС від 26.04.99 р. «Про захоронення відходів на полігонах», ЗГ має збиратися на всіх полігонах, де розміщується біомаса, оброблятися та використовуватися для виробництва електроенергії та/чи тепла, оскільки із ЗГ, в залежності від вмісту метану, можна генерувати значні обсяги енергії. Якщо зібраний газ не може використовуватися для виробництва енергії, він має спалюватися у факельному пристрої. Однак, на українських полігонах та звалищах впровадження жодних систем поводження із ЗГ є поодиноким.

Крім простого методу організованого спалювання ЗГ в факельному пристрої, на поточний час набули широкого застосування кілька способів ефективного використання ЗГ для отримання енергії. Основними з них є пряме використання і виробництво електроенергії. У цьому розділі Керівництва надається огляд технологій енергетичної утилізації ЗГ. У тому числі наводяться нові технології, які можуть застосовуватися при певних умовах. Також обговорюється процедура оцінки та вибору технологій використання енергії, в завершених проаналізованих варіантах підготовки ЗГ до використання.

Огляд досвіду збору та утилізації ЗГ в деяких країнах світу наведено у Керівництві з відбору проектних технологій для житлово-комунального сектору України¹³.

Тенденція розширення збору та утилізації ЗГ, яка спостерігається у багатьох країнах, пояснюється двома основними причинами: склад ТПВ все в більшій мірі сприяє утворенню ЗГ; суспільство все прискіпливіше ставиться до забруднення навколишнього середовища метаном, водами, які фільтруються у ґрунт, а також поганим запахом із звалищ.

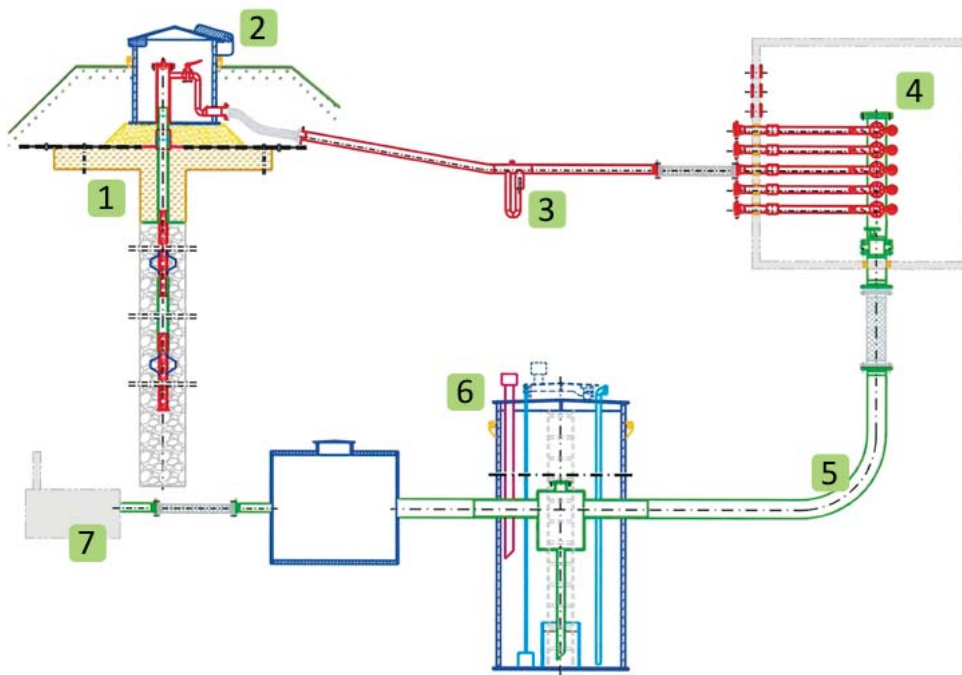
Міста України продукують щорічно 40 - 45 млн. м³ ТПВ (біля 10 - 12 млн. т). Приблизно 90% їх збирається і вивозиться на 656 звалищ, розташованих на відстані в 10 - 20 км від околиць міст. В середньому на одного мешканця України припадає 0,8 - 1,0 кг ТПВ на добу. Більше 500 звалищ в Україні створені без елементарних запобіжних дій проти забруднення підземних вод і атмосферного повітря. Внаслідок того, що території звалищ в останні роки віддаляються від міст на 20 км і більше, витрати на транспортування зросли і складають до 75% загальних затрат на санітарну очистку міста. Якщо вихід доступного для збору і використання ЗГ складає 100 м³/т ТПВ, тоді потенціал ЗГ в Україні складає 1,35 млрд. м³/рік (ЗГ виділяють відходи, захороненні протягом останніх 20 років).

Його енергетичний потенціал - 0,9 млн. т у. п./рік (біля 0,4% споживання первинних енергоносіїв в Україні). При цьому потенціал зниження викидів парникових газів зі звалищ складає 557 тис. т/рік метану, що еквівалентно зниженню викидів 11,7млн. т/рік вуглекислого газу.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗБОРУ ТА ПІДГОТОВКИ ЗГ НА ПОЛІГОНАХ ТПВ

Типова система збору ЗГ (рис. 5.20) складається з:

- свердловини (до декількох десятків);
- газозбірних пунктів з трубопроводами ЗГ від свердловин;
- проміжних та магістральних газопроводів;
- конденсатовідвідників;
- вакуум-насосна станція для видалення газу із свердловин;
- системи підготовки ЗГ (осушення та очищення);
- газгольдер (накопичення ЗГ) - за необхідністю;
- устаткування утилізації ЗГ: а) енергетичне обладнання або б) для факельного спалювання ЗГ (в аварійних в ситуаціях або за наявності надлишку).



1 - газозбірна свердловина; 2 - оголовок свердловини; 3 – конденсатовідвідник; 4 - газозбірна станція;
5 - основний газопровід; 6 - шахта збору конденсату; 7 - система утилізації ЗГ

Рис. 5.20 Типова схема системи збору ЗГ

¹³ Керівництво з відбору проектних технологій для житлово-комунального сектору України. ПРОЕКТ USAID «МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА РЕФОРМА В УКРАЇНІ» (МЕР). Вересень 2015 р.

В окремих випадках рекомендується, крім газозбірних труб, влаштовувати водорозподільні системи, котрі дозволяють зволожувати ТПВ, регулювати рН середовища, обробляти ТПВ необхідними реагентами, впливаючи відповідним чином на умови розкладання відходів.

Найбільш поширена система збору ЗГ складається із мережі вертикальних свердловин, поєднаних разом горизонтальними трубами, які збирають добутий ЗГ і спрямовують його в устаткування для подальшого енергетичного використання.

Всередині вертикальної свердловини, яка знаходиться в шарі ТПВ, розташована пластикова труба, перфорована прорізами у вигляді щілин, шириною 3-6 мм від нижнього краю на відстані 3-5 м до верху насипу. Діаметр труби дорівнює 0,6-1,2 м, глибина - мінімум 7 м і відповідає приблизно 50 - 90% товщини шару ТПВ. Об'єм свердловини навкруги перфорованої збірної труби засипаний гравієм. Верхні 0,5 м свердловини ущільнені бетоном або глиною з метою попередження припливу атмосферного повітря у свердловину та виходу в атмосферу ЗГ.

Свердловини можуть буритися, коли звалище повністю або одна з його секцій повне. Також свердловини можуть споруджуватись поступово, по мірі заповнення працюючого звалища. В цьому випадку на звалищі встановлюються сталеві труби великого діаметру, в кожній з яких розташована перфорована труба для видобування ЗГ. Відстань між трубами заповнюється гравієм, уламками цегли. Після того, як насипається шар звалища висотою 2-5 м, сталеві труби піднімаються, а після заповнення звалища вони демонтуються. Завдяки горизонтальним сполученням вертикальних свердловин в нижній їх частині видобуток ЗГ може розпочатися під час заповнення звалища.

Радіус впливу свердловини для всмоктування ЗГ змінюється в межах 8 - 80 м із середнім значенням 30 - 35 м (2-3 свердловини на гектар). Відстань між свердловинами не повинна бути меншою подвійного радіуса впливу. В залежності від місцевих умов швидкість всмоктування ЗГ з однієї свердловини дорівнює від 5-50 до 250 м³/год.

Коли система збору газу встановлюється при заповненні звалища, надають перевагу мережі горизонтальних труб для його всмоктування. Горизонтальні системи для видобутку ЗГ можуть бути розташовані в поверхневих частинах звалища під верхньою частиною засипаних відходів, так як ЗГ переміщується по напрямку до поверхні звалища. На глибоких звалищах

для збільшення впливу всмоктування та підвищення ефективності збору ЗГ доцільно сумісно використовувати вертикальні свердловини і горизонтальні труби, якщо масив звалища має поверхнєве покриття, можуть бути встановлені також системи поверхневого збору.

При заглибленому розташуванні труби закладаються у вириті в шарі ТПВ траншеї глибиною не менше 900 мм і обсыпаються гравієм або піском шаром до 500 мм. Потім траншеї знову закладаються шаром ТПВ. Мінімальний нахил горизонтальних трубопроводів становить 4 кутових градуса в межах ділянки захоронення ТПВ і 1 градус за його межами.

Наприклад, в Нідерландах найширше застосовують наступні технології збору і добування ЗГ (можлива їх комбінація): на заповнених звалищних майданчиках - поверхневий збір або система вертикальних свердловин; на поповнювальних звалищних майданчиках - горизонтальні або вертикальні системи.

Горизонтальні системи для вилучення ЗГ можуть бути розміщені в поверхневих шарах звалища на глибині 2-4 метри.

Звалище осідає на 5-20% і навіть до 30-35% його глибини. Тому свердловини для видобутку ЗГ поєднують з колектором за допомогою гнучкого з'єднання. Найбільш доцільним матеріалом для збору ЗГ є поліетилен низького тиску (для надземного і підземного використання), полівінілхлорид (для підземного використання).

У випадку активної дегазації система газопроводів повинна працювати при розрідженні до 800 мм водяного стовпа. Діаметр труб розраховується виходячи з розмірів полігону та максимальної допустимої швидкості газу в трубах. Зазвичай мінімальний діаметр використовуваних труб становить 100 мм.

На рис. 5.21 представлені основні етапи виконання робіт по будівництву системи збору ЗГ:

- Буріння та монтаж газових свердловин зі сталевими обсадними колодязями;
- Викопування траншей для труб, постачання, прокладка і зварювання газозбирних та газозбірних трубопроводів;
- Виготовлення, постачання і монтаж шахти збору конденсату з упором для запобігання спливання;
- Виготовлення фундаментної плити та монтаж факельної установки;
- Монтаж енергетичної установки та її під'єднання до системи збору ЗГ та електричної мережі.



Рис. 5.21 Основні етапи виконання робіт по будівництву системи збору та утилізації ЗГ

ПІДГОТОВКА ЗГ

Перед використанням ЗГ з нього зазвичай видаляють залишкову вологу (конденсат), яка не була зібрана в системах видалення конденсату, а також тверді частки та інші домішки. Вимоги до підготовки газу залежать від його кінцевого застосування. Первинною операцією, як для виробництва електроенергії, так і прямого використання, є видалення вологи, так як ЗГ насичений паром води, яка може викликати корозію обладнання. Мінімальна обробка необхідна для прямого використання ЗГ в котельнях, печах або паликових пристроях. Системи очищення ЗГ для електроенергетичних проектів зазвичай застосовують низку фільтрів для видалення забруднень, які можуть пошкодити компоненти двигуна і турбіни та знизити ефективність роботи системи.

Типи систем підготовки ЗГ

Системи підготовки ЗГ можна розподілити на первинні і вторинні. Більшість систем первинної обробки передбачають видалення парів води і фільтрацію для видалення залиш-

кової вологи і твердих частинок. Видалення вільної води і конденсату використовує фізичні принципи в простому пристрої - розширювальної ємності або конденсатовідвідник (рис. 5.22).



Рис. 5.22 Відведення конденсату перед факелом на полігоні Gaoantun, Китай

Ємність уповільнює швидкість руху ЗГ до величини, достатньої для гравітаційного осадження рідини. Конденсатовідвідник повинен розташовуватися в безпосередній близькості від входу газодувки. Зібрана рідина дремується або збирається в ємність для тимчасового зберігання. Конденсатовідвідники здатні переробляти великі потоки газу (більше 10000 м³/год) і видаляти більше 1 літра рідини на хвилину¹⁴.

Системи вторинного очищення призначені для забезпечення суттєво більшою мірою очищення в порівнянні з первинними системами. Системи вторинного очищення можуть використовувати кілька етапів очищення в залежності від технічних характеристик газу, необхідного кінцевого споживача. Ці етапи можуть включати в себе як фізичні, так і хімічні методи очищення. Тип системи вторинного очищення ЗГ також залежить від компонентів, які повинні бути видалені на вимогу кінцевого споживача.

Найбільш часто з ЗГ видаляються наступні мікродомішки: сілоксани; сполуки сірки; газові домішки; діоксид вуглецю.

ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЙ ПІДГОТОВКИ ЗГ

Підготовка ЗГ для енергетичного використання може варіюватися від простого видалення вологи і твердих частинок до більш дорогого видалення агресивних і абразивних домішок. Конкретні типи та особливості застосування обладнання для утилізації можуть вимагати різних рівнів підготовки ЗГ. Основним способом підготовки ЗГ є видалення насичених водяних парів, що знижує витрати на подальше технічне обслуговування обладнання¹⁵.

Очищення ЗГ призводить до суттєвого зменшення корозії і знижує витрати на технічне обслуговування протягом усього терміну використання обладнання. Рівень очистки та відповідні витрати залежать від вимог кінцевого споживача до чистоти газу. Наприклад, сілоксани викликають значно менше проблем для котлів, ніж для двигунів або турбін.

Компромісний вибір спрощеної та менш витратної підготовки збільшує необхідність обслуговування обладнання. Використання системи підготовки збільшує початкові капітальні витрати, в той час як відмова від неї або вибір спрощеної системи підготовки, швидше за все, призведе до збільшення довгострокових витрат на експлуатацію та технічне обслуго-

вування, а також до необхідності заміни обладнання. Для більшості полігонів рекомендується використовувати систему охолодження, осушення та фільтрації ЗГ для видалення вільних рідин і твердих частинок перед постачанням в двигуни або компресори. Використання методів очищення від сірководню або сілоксанів залежить від вимог конкретного проекту і змісту забруднень в ЗГ.

ЗГ може бути розділений на три категорії, засновані на рівні попередньої очистки/ очистки перед використанням, а саме:

1. Паливо зі ЗГ низької якості (до 17 МДж/Нм³) – утилізація, як правило, потребує мінімального рівня очистки, включаючи використання в системі збору ЗГ камери та збірників для видалення конденсату, з метою зменшення кількості вологи газу.
2. Паливо зі ЗГ середньої якості (до 20 МДж/Нм³) – для використання необхідні додаткові пристрої для очищення для вилучення більшої кількості вологи (та забруднюючих речовин) і зважених частинок. Процес включає стиснення і охолодження ЗГ та/або хімічну очистку чи очищення для видалення надлишкової вологи і газів домішок, таких як, меркаптани, сполуки сірки, сілоксани і леткі органічні сполуки.
3. Паливо зі ЗГ високої якості (до 38 МДж/Нм³) - утилізація в якості повноцінного палива потребує високого рівня попередньої очистки газу, для відокремлення діоксиду вуглецю та інших компонентів з метану і видалення домішок, включаючи меркаптани, сполуки сірки, сірководень і леткі органічні сполуки, і стиснення для видалення вологи і може стати заміною природного газу.

На рис. 5.23 наведена схема для допомоги в розумінні використання різних типів палива із неочищеного ЗГ. Схема також ілюструє зростаючий рівень необхідної очистки для перетворення ЗГ в паливо від низької до високої якості.

ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ З ТПВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ

У цьому розділі розглядається ряд доступних технологій для відновлення певної кількості енергії з ЗГ, які дають змогу потенційно забезпечити додаткове джерело доходу для полігону завдяки продажу продукції із ЗГ.

¹⁴ United Kingdom Environment Agency. Guidance on Gas Treatment Technologies for Landfill Gas Engines. http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0311BTON_e_e.pdf.

¹⁵ ISWA. ISWA Landfill Operational Guidelines. 2nd Edition. [http://www.wief.net/programs_events/ISWA_Landfill_Operational_Guidelines_2nd_Edition\[1\].pdf](http://www.wief.net/programs_events/ISWA_Landfill_Operational_Guidelines_2nd_Edition[1].pdf).

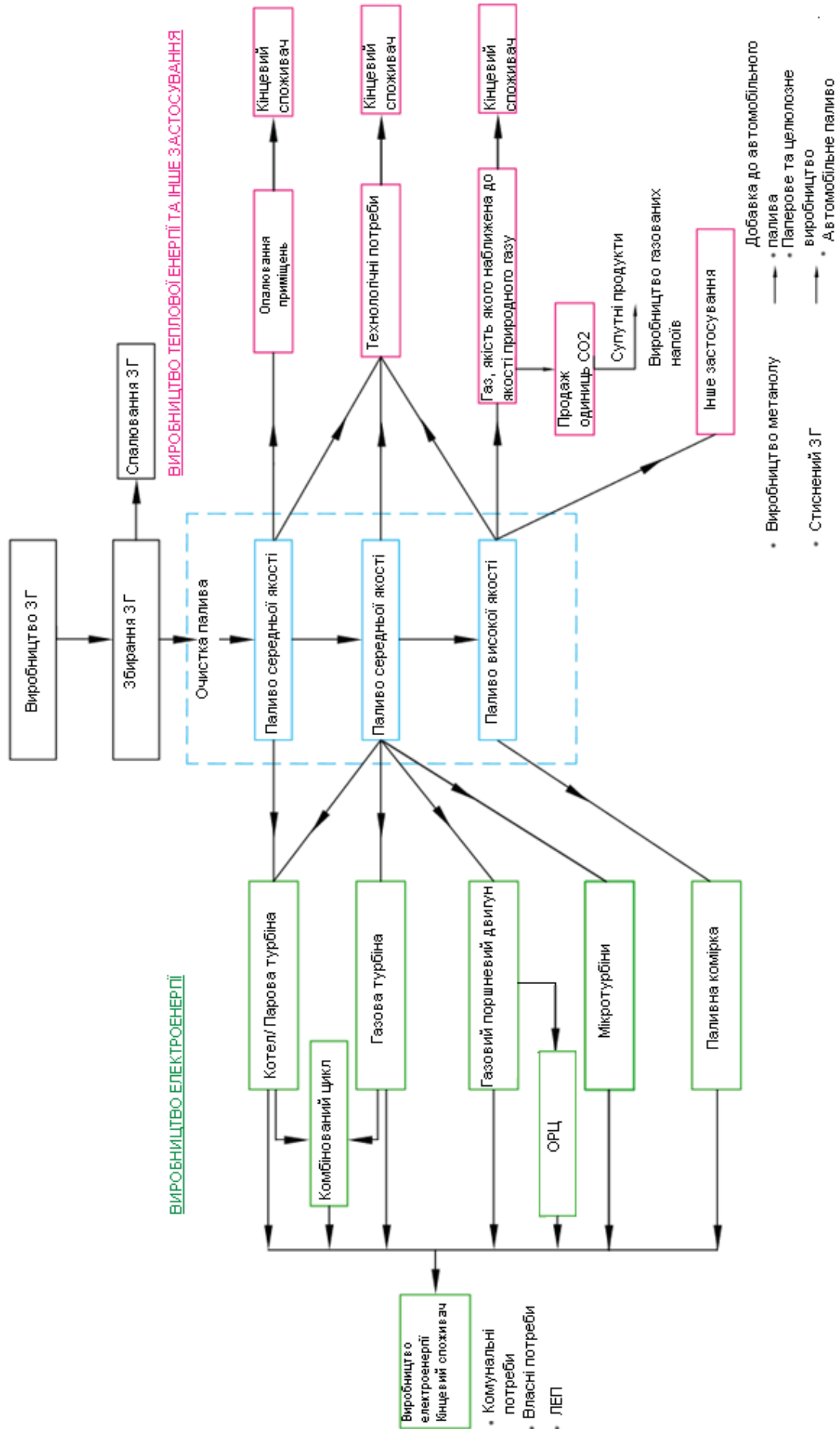


Рис. 5.23 Схема використання різних типів палива із ЗГ

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОЕНЕРГІЇ ЗІ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ

Котли



Рис. 5.24 Водогрійний котел на полігоні Gaoantun в Пекіні, Китай

Котли використовують ЗГ в якості палива для виробництва пари або гарячої води (рис. 5.24). Пара, отримана за допомогою котла, може використовуватися для опалення приміщень, в промислових процесах або вироблення електроенергії за допомогою парових турбін. Для використання ЗГ в існуючих котлах потрібна модифікація пальників і системи паливоподачі (наприклад, підключення трубопроводу подачі ЗГ). Практично будь-який комерційний чи промисловий котел може бути пристосований для спалювання ЗГ окремо або в суміші з іншим паливом. Устаткування для модернізації котлів є комерційно доступним і широко використовується, проте місцеві умови та особливості повинні бути прийняті до уваги під час підготовки та проектування. Зокрема, необхідно враховувати кількість доступного ЗГ в порівнянні з потребами в парі і потужністю котла на об'єкті¹⁶.

Типові підходи модифікації пальника включають:

- встановлення автоматичного контролю системи подачі палива для змішування ЗГ та вихідного палива з метою підтрим-

ки спільного спалювання та забезпечення негайного перемикавання палива у випадку втрати тиску ЗГ в системі. Така модернізація забезпечує безперебійну подачу палива і гнучкість спільного спалювання палива.

- встановлення ручного управління котла замість автоматичної системи управління технологічним процесом. Це модернізація найкраще підходить для випадків, коли котел не потребує резервного джерела безперебійної пари або там, де встановлені резервні джерела пари. У цьому випадку використовується ручне управління, а система експлуатації котла не інтегрована в автоматичну систему управління технологічним процесом¹⁷.

ЗГ застосовується в котлах різної потужності від невеликих котелень, що використовуються для обігріву будівель, шкіл і лікарень, до великих промислових об'єктів, що забезпечують паром целюлозно-паперові, автомобільні та інші великі виробничі підприємства.

Пальники, сушарки та випалювальні печі



Рис. 5.25 Скляна майстерня в Центрі відновлюваної енергії EnergyXchange, Сівши. Кароліна, США

Печі різної конструкції та пристрої для сушіння можуть використовувати ЗГ в якості заміни або доповнення до традиційних видів палива (рис. 5.25) при виробництві цементу, цегли, кераміки, заліза і сталі, скла, виробів з деревини. Для невеликих споживачів (таких як місцеві цегляні або гончарні майстерні) ЗГ може забезпечити всю або більшу частину енергетичних потреб. Для підприємств з великим споживанням енергії ЗГ може бути недостатньо для задоволення 100% потреби в паливі.

¹⁶ U.S. EPA LMOP. 2009. Adapting Boilers to Utilize Landfill Gas: An Environmentally and Economically Beneficial Opportunity. <http://epa.gov/lmop/documents/pclfs/boilers.pdf>.

¹⁷ Global Methane Initiative. 2010. Landfill Gas Energy Technologies. <http://www.globalmethane.org/Data/1022 LFG-Handbook.pdf>.

У цьому випадку ЗГ використовується в якості додаткового палива. При цьому ЗГ забезпечує економію засобів, особливо для виробників, що залежать від імпортованих чи нестабільних поставок палива.

На додаток до промислового використання, деякі муніципалітети використовують ЗГ в якості палива для сушіння в обертових барабанах або спалювання осаду стічних вод на місцевих очисних спорудах. Часто звалища та очисні споруди розташовані поруч, і ЗГ може компенсувати витрати з очищення стічних вод для муніципалітету. Наприклад, зневоднений і гранульований осад побутових стічних вод може бути проданий виробникам органічних добрив¹⁸.

Інфрачервоні нагрівачі



Рис. 5.26 Інфрачервоні нагрівачі на полігоні у м. Хмельницький, Україна

Інфрачервоні нагрівачі генерують енергію високої інтенсивності (тепло), що поглинається поверхнями підлоги і інших об'єктів (рис. 5.26). Інфрачервоні нагрівачі ефективні для точкового обігріву, але також використовуються для обігріву великих площ¹⁹. Існують два види інфрачервоних нагрівачів на ЗГ: керамічні (світлі) і трубчасті (темні).

Керамічні інфрачервоні нагрівачі складаються з перфорованої керамічної пластини, покритої алюмінієвим рефлектором і повітрозабірником для суміші газу і повітря, обладнаним електричним клапаном. Керамічні інфрачервоні обігрівачі працюють при температурі від 800 і 1000 °С, їх ККД досягає 93%. Трубчасті інфрачервоні нагрівачі складаються з газового пальника, випромінюючої труби і екрану та працюють при температурах від 400 до 600 °С.

Інфрачервоний нагрів, що використовує ЗГ в якості палива, успішно застосовується на декількох полігонах в Канаді та США. Він ідеально підходить у випадку, якщо опалювальний об'єкт знаходиться на полігоні або поблизу від нього. Наприклад, це може бути приміщення, що використовується працівниками полігону ТПВ. Залежно від клімату в місці установки інфрачервоний нагрівач може використовуватися тільки протягом холодного сезону, що буде обмежувати використання ЗГ. Інфрачервоні нагрівачі споживають невелику кількість ЗГ, відносно недорогі і прості в установці і експлуатації. Існуючі проекти використовують від 20 до 50 м³/год ЗГ. Менше 50 м³/год ЗГ необхідно для нагріву близько 600 квадратних метрів приміщення²⁰.

Випаровування фільтрату

ЗГ може використовуватися для випаровування фільтрату, що зменшує обсяг і витрати на переробку шляхом випаровування води і отримання більш концентрованого обсягу стічних вод. Випаровування фільтрату є хорошим рішенням для полігону, де утилізація фільтрату неможлива або обходиться занадто дорого, або де утворюються великі обсяги фільтрату при існуючих просторових обмеженнях. Однак деякі побічні продукти випаровування фільтрату (наприклад, концентрати або солі) повинні бути утилізовані безпечним способом або перероблені. Випарники фільтрату мають низькі вимоги по споживанню ЗГ. Сучасні випарники прямої дії споживають приблизно 330 м³/год ЗГ, випаровуючи при цьому 1 670 л/год води²¹.

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗІ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ

ЗГ може використовуватися, як паливо, у двигунах внутрішнього згоряння (надалі – ДВЗ) або газових турбінах (надалі – ГТ), що приводять у рух електричні генератори. Електроенергія може використовуватися для власних потреб, наприклад, забезпечення потреб газодувки активної системи збору ЗГ або випарника фільтрату або, більш імовірно, для продажу в місцеву електричну мережу²². Виробництво електроенергії з ЗГ має місце в більшості енергетичних ЗГ проектів у світі.

¹⁸ Public Works Magazine, January 2011. Self-Sustaining Biosolids Drying, <http://www.pwmag.com/industry-news.asp?sectionID=760&articleID=1481422>.

¹⁹ D.T. Mears, Optimum Utility Systems. 2001. Biogas Applications for Large Dairy Operations: Alternatives to Conventional Engine-Generators, http://www.manure.umn.edu/assets/cornell_biogas_applications.pdf.

²⁰ D.D. Dillah, January 2006. Heating Landfill Facilities Using Infrared Heaters - Part 2 and Project 2. <http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/conf/9th/dillah.pdf>.

²¹ Shaw LFG Specialties, LLC. 2007. The Future of LFG Utilization. http://www.globalmethane.org/expo_china07/docs/postexpo/landfill_zeng.pdf.

²² ISWA. ISWA Landfill Operational Guidelines. 2nd Edition. http://www.wief.net/programs_events/ISWA_Landfill_Operational_Guidelines_2nd_Editionfill.pdf.

На рис. 5.27 представлена схема типової сучасної системи енергетичної утилізації ЗГ з полігону ТПВ, яка складається з системи збору та підготовки ЗГ; системи утилізації ЗГ на

енергетичному обладнанні та системи постачання енергоресурсів (електричної та теплової енергії) до споживача.

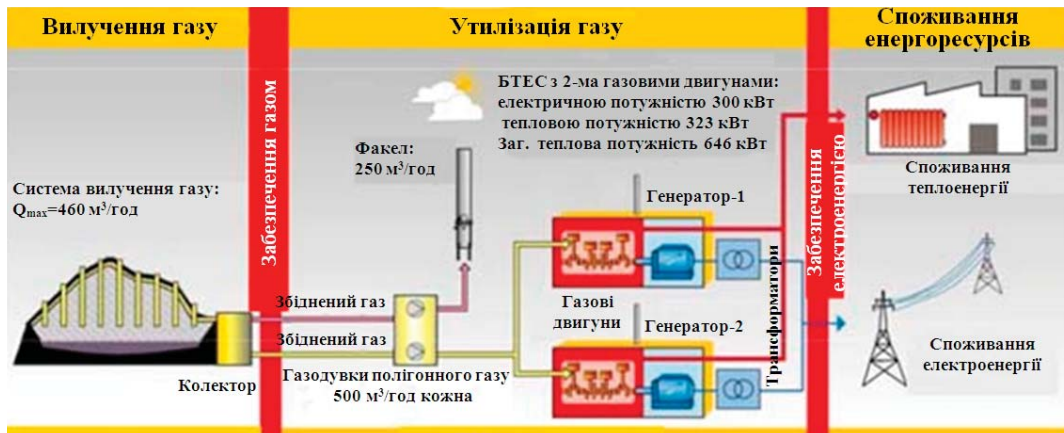


Рис. 5.27 Схема системи енергетичної утилізації ЗГ з полігону ТПВ

Двигуни внутрішнього згоряння



Рис. 5.28 Двигун внутрішнього згоряння з електрогенератором потужністю 1 МВт компанії GE Jenbacher на полігоні м. Бориспіль, Україна

Найбільш поширеною технологією утилізації ЗГ для малих і середніх енергетичних проектів є використання ДВЗ (рис. 5.28). ДВЗ доступні в різних розмірах з електричною потужністю від менш 0,2 МВт до більш 3,0 МВт. Для забезпечення потужності 1 МВт необхідно від 500 до 540 м³/год ЗГ при вмісті метану 50%. ДВЗ, що використовують ЗГ в якості палива, є комерційно доступними і можуть постачатися як у вигляді модульних блоків, так і у вигляді єдиної лінійки двигунів. Найчастіше встановлюється ряд двигунів в контейнерах для того, щоб забезпечити додавання або видалення окремих двигунів залежно від мінливого за часом потоку ЗГ. Багато виробників розробили ДВЗ спеціально для використання ЗГ з ТПВ, при цьому вони в змозі продемонструвати приклади роботи таких двигунів.

Основні витрати на елементи обладнання, зазвичай, добре відомі і добре визначені. Капітальні витрати на двигун-генератор знахо-

дяться в межах \$ 600-\$ 800 за кВт електрогенеруючих потужностей в залежності від розміру об'єкта і конкретного двигуна (двигунів), який обраний для застосування. Проте варто пам'ятати, що ці витрати становлять лише 40-60% від загальної вартості об'єкта з виробництва електроенергії, необхідно також враховувати вартість системи збору ЗГ. В останнє десятиліття широке застосування набули турбінні установки, що працюють по екологічно чистому органічному циклу Ренкіна (ORC) та призначені для виробництва електроенергії з відпрацьованого (скидного) тепла - надлишків теплової енергії, яку мають димові гази після ДВЗ (рис. 5.29).



Рис. 5.29 ORC-установка

Турбінна установка, що застосовує ORC-технологію, має електричну потужність від 50 кВт до 800 кВт і складається з єдиного блок-модуля (зазвичай розташованого в 20 або 40 футовому стандартному контейнері для морських перевезень), що містить все обладнання, необхідне для роботи енергоблоку (теплообмінники, трубну обв'язку, насос, що подає теплоносій - робочу рідину, турбіну,

електрогенератор, керуючий та перемикаючий пристрої). Завдяки цьому установки легко перевозити і монтувати, і вони легко підключаються до джерел тепла. Дооснащення ORC-турбіною здатне підвищити ККД ДВЗ на 10-15%. ORC-турбіни ідеально підходять для застосування на віддалених об'єктах, наприклад, звалищних полігонах, де від джерел генерації вимагається тільки електрика.

ORC-турбіни мають наступні переваги:

- високий ККД - до 85%,
- низькі механічні навантаження турбін, завдяки низькій швидкості,
- низька швидкість обертання валу турбіни дозволяє мати прямий механічний зв'язок з електрогенератором без понижуючого редуктора,
- великий термін служби,
- працюють без присутності оператора,
- можуть обслуговуватися звичайним теплотехніком.

В світі існує значна кількість виробників такого обладнання.

Газові турбіни

Прикладом енергетичного пристрою більшої потужності є газова турбіна (ГТ). Газові турбіни на ЗГ схожі на турбіни на природному газі, за винятком того, що в першому випадку через порівняно низьку якість ЗГ використовується в два рази більше регулюючих клапанів і форсунок²³. На більшості ГТ, що працюють на полігонах, використовується простий цикл і один вал. ГТ, як правило, мають більшу потужність, ніж ДВЗ і доступні в діапазоні потужностей від 1 МВт до 10 МВт і більше (рис. 5.30)²⁴. Незважаючи на те, що турбіни меншого розміру або «мінітурбіни» (1 МВт) також використовуються на полігонах, вони не набули широкого поширення. Більшість енергетичних проектів, що використовують турбіни в США, працюють в діапазоні від 3 до 5 МВт і вимагають стійкого потоку ЗГ не менше 2 000 м³/год. ГТ доступні в модульному і інтегрованому варіантах. Модульні системи забезпечують гнучкість при зміні якості і потоку ЗГ. ГТ вимагають подачу палива під високим тиском. Тому перед турбіною повинен встановлюватися паливний газовий компресор. Компресор є найбільш чутливою частиною обладнання з погляду забезпечення довгострокової надійності об'єк-

та. Вимоги до ступеня стиснення, як правило, визначають рівень переробки ЗГ, який у свою чергу, впливає на вартість експлуатації і технічного обслуговування енергетичної установки. Забезпечення необхідного тиску ЗГ може споживати значну частину потужності, що генерується, внаслідок чого кінцева ефективність перетворення енергії буде нижчою.



Рис. 5.30 Когенераційна газотурбінна установка у штаті Південна Кароліна, США

ГТ можуть використовуватися у модульній комплектації. Для збільшення загальної потужності газотурбінні установки можуть складатися з кількох окремих модулів. ГТ, як правило, більші за розміром, ніж ДВЗ з одиначною потужністю виробництва електроенергії від 1 МВт до 8 МВт. ГТ також гнучкі у використанні, з точки зору збільшення виробничих потужностей виробництва ЗГ, однак, етапи нарощування виробничого потенціалу є більшими, ніж для ДВЗ.

ГТ потребують більше капітальних витрат на початкових стадіях в порівнянні з ДВЗ. Проте вони, зазвичай, демонструють кращі показники відпрацьованих газів, порівняно з ДВЗ, тим самим знижуючи витрати на експлуатацію та технічне обслуговування і мають більшу функціональну гнучкість (здатні підтримувати помірну ефективність, незважаючи на коливання потоку ЗГ та його характеристик). Крім того, встановивши ГТ, в майбутньому буде легше перейти безпосередньо до комбінованого циклу (як описано нижче).

Для стиснення ЗГ перед його спалюванням в ГТ, застосовується компресорна установка, надійна робота якої забезпечує ефективність установки в цілому. Перед потраплянням до компресора газ проходить попередню очистку.

²³ Middough. City of Toledo, OH Landfill Gas 10 MW Combined Cycle Cogeneration Facility. <http://www.middough.com/Business/Industrial/Energy.aspx>.

²⁴ SCS Engineers. 1997. Comparative Analysis of Landfill Gas Utilization Technologies. <http://www.nrbp.org/pdfs/pub07.pdf>.

Це також дозволяє збільшити надійність функціонування установки та зменшити експлуатаційні витрати.

Є кілька газових турбін, які були успішно адаптовані їх виробниками для застосування ЗГ.

Парогазова установка

Парогазова установка використовує як газову, так і парову турбіну для виробництва електроенергії. Цей процес забезпечує покращення ефективності більше ніж на 40% завдяки використанню високопотенційного тепла відхідних газів від газової турбіни котлом-утилізатором. Потім тепло відхідних газів використовується для отримання пари на паровій турбіні. Використання тепла відхідних газів від газової турбіни зменшує обсяг ЗГ, необхідного для котла. Парогазові установки, як правило, є економічно вигідними для електростанцій потужністю більше 10 МВт.

Капітальні витрати на встановлення парогазової установки на великому об'єкті, на одиничну вартість встановленої потужності виробництва електроенергії, можуть бути нижчими завдяки більшій ефективності виробництва енергії. Ця технологія використовується на великих полігонах, тому рекомендується використовувати компоненти та обладнання бувшого вжитку для забезпечення скорочення капітальних витрат. Наприклад, велика установка з утилізації ЗГ на полігоні в Торонто (Канада) була успішно встановлена з впровадженням парової турбіни з використанням комбінації нового та вже використовуваного обладнання. Капітальні витрати цього об'єкта менші ніж \$ 500,000 за МВт електрогенеруючої потужності.

Мікротурбіни

Газові мікротурбіни (МТ) можуть використовувати ЗГ низької теплотворної здатності (всього 3000 ккал/м³). Вони, зазвичай, здатні виробляти до 75 кВт електричної енергії та 85 кВт теплової енергії для комбінованих установок теплоелектроцентралей (рис. 5.31). Система МТ складається з компресора, рекуператора, камери згоряння, турбіни і генератора постійного магніту та займають дуже невелику площу для функціонування²⁵. Менша потужність цих установок робить їх найбільш прийнятними на старих, невеликих або віддалених полігонах з низькою продуктивністю виходу ЗГ.



Рис. 5.31 Когенераційна мікротурбіна компанії Capstone в школі штату Іллінойс, США

Крім генерації електроенергії МТ може виробляти тепло. Для цього вона повинна бути укомплектована спеціальним пристроєм, який утилізує теплоту вихлопних газів. Такі енергетичні системи, що спільно виробляють електроенергію і тепло, відносяться до класу когенераційних. Такі МТ називають мікро-CHP (мікро-ТЕЦ). При цьому загальний ККД системи «тепло + електрика» зростає до 80-90%. Спеціально для МТ сконструйовано кілька типів таких теплообмінників, розрахованих на спільну роботу з однією, двома, чотирма і т. д. Застосування установок мікро-CHP різко підвищує загальний ККД і вирішує завдання теплопостачання для опалення та отримання гарячої води. Крім того, тепло відхідних газів можна утилізувати для генерації холоду на абсорбційних холодильних установках.

МТ - це компактна, малошумна, одна з екологічних електрогенеруючих установок у світі. У цьому зв'язку для МТ немає необхідності зводити високу і дорогу димову трубу. Діапазон електричної потужності МТ найбільш затребуваний у споживачів: від 30 кВт до 12 МВт. У МТ не використовується моторне масло, мастильні матеріали та охолоджуюча рідина. Для газових електростанцій попереднього покоління, з поршневими силовими агрегатами, витрата моторного масла становить значну частку витрат. На один кіловат виробленої електроенергії в газопоршневої установці витрачається до 0,35 г моторного масла на годину. Дорогі свічки запалювання (100-200 €), щітки для генераторів, високовольтні дроти, паливні та масляні фільтри в МТ також не застосовуються. У МТ встановлюється надійний п'єзоелемент розпалу, що використовується в сучасній військовій авіації.

²⁵ Technical Reference. Capstone MicroTurbine System Emissions. – Chatsworth. Los Angeles: Capstone Turbine Corporation, 2008. – 6 p.

На сьогоднішній день ще не доведено, що використання МТ є найбільш економічно ефективним варіантом для більших проектів з виробництва ЗГ, вони часто застосовуються в країнах Латинської Америки і Карибського басейну. Вони можуть бути адаптовані до невеликих установок і можуть стати більш прийнятними для віддалених і невеликих установок, якщо значення електричної потужності продовжує збільшуватися до значень прибутків, які є прийнятними в Європі. Мало масштабні проекти з впровадження МТ, або поршневих двигунів, є життєздатними, якщо значення чистого доходу більш ніж на \$0,08/кВт·год.

Комбіноване виробництво тепла та електроенергії

Деякі проекти з виробництва електроенергії можуть збільшити свою ефективність за рахунок використання когенерації. Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) або когенераційні установки виробляють електроенергію і використовують напрацьоване тепло в корисних цілях. Теплова енергія може використовуватися для локального обігріву, охолодження або технологічних потреб, а також подаватися по трубах сусіднім промисловим або комерційним споживачам, забезпечуючи при цьому додаткове джерело доходу для проекту²⁶. Когенерація часто є кращим економічним варіантом для кінцевих споживачів, розташованих поблизу полігону або для проектів, де кінцевий споживач має достатній попит як на електроенергію, так і на тепло²⁷. Прикладом використання ЗГ на ТЕЦ є полігон YTV Ammassuol у Фінляндії. Проект використовує ЗГ для тепlopостачання та виробництва електроенергії. Для додаткової інформації про ТЕЦ дивіться сайт Biomass CHP Catalog of Technologies партнерства Агентства захисту навколишнього середовища США.

ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА ІЗ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ ВИСОКОЇ ЯКОСТІ

ЗГ може бути очищений для того, щоб отримати еквівалент природного газу в газопровідній системі, стисненого природного газу (CNG) або зрідженого природного газу (LNG). Збагачений до біометану ЗГ може подаватися в газопровід природного газу і використовуватися для промислових цілей. CNG і LNG можуть використовуватися в якості моторного палива для механізмів на полігоні, сміттєвозів або інших автомобілів, пристосованих для використання цих видів палива. Сучасні технології підготовки

газу є відносно дорогими. Мембранні методи або очистка газу при змінному тиску вимагають підвищення газового тиску, експлуатація та технічне обслуговування таких систем може бути відносно складною. Проекти очищення ЗГ, як правило, здійснюються на дуже великих полігонах або там, де існує високий попит на стиснутий або скраплений природний газ.

Найчастіше це має місце в США, ніж в інших країнах. Крім того, ретельне управління роботою системи збору ЗГ (оголовки свердловин) може бути необхідним для того, щоб обмежити потрапляння кисню та азоту в ЗГ. Основною причиною наявності кисню та азоту в ЗГ є повітря, що проникає через поверхню звалища і потрапляє в систему збору газу. Наявність повітря часто можна мінімізувати шляхом регулювання розрядження на свердловинах і поліпшення герметичності верхнього покриття полігону. Додаткова інформація про перетворення ЗГ до якості природного газу може бути знайдена в розділі 3 the LMOP LFG Energy Project Development Handbook (http://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf_full.pdf).

Прямий замітник природного газу. ЗГ високої якості, на рівні якості трубопровідного природного газу, виробляється на кількох полігонах у США та Європі. Споживачами цього продукту є комунальні або промислові підприємства, які споживають природний газ. Виробництво ЗГ, якість якого відповідає якості природного газу, призводить до скорочення вмісту діоксиду вуглецю та інших газових домішок у ЗГ, в результаті чого утворюється газ, який на 98% складається з метану.

Автомобільне паливо. Стиснутий ЗГ (СЗГ) і зріджений ЗГ (ЗЗГ), який виробляється завдяки запатентованим процесам, використовується в якості палива транспортних засобів у рамках демонстраційного проекту на полігоні в Пуенте-Хіллз в Каліфорнії. Для того, щоб використовувати газ, спочатку його необхідно очистити, з метою видалення домішок і збільшення його калорійності перед стисненням. Переваги цього застосування включають зниження споживання викопного палива і зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Проте для модернізації транспортних засобів з метою їх адаптації до використання такого виду палива та для будівництва відповідних заправних станцій, необхідні значні витрати. Перед реалізацією такої технології важливо проводити детальні розрахунки.

²⁶ U.S. EPA Combined Heat and Power Partnership. Catalog of CHP Technologies. [http://www.epa.gov/chp/documents/catalog of %20chp tech entire.pdf](http://www.epa.gov/chp/documents/catalog%20of%20chp%20tech%20entire.pdf).

²⁷ U.S. EPA. 2012. Landfill Gas Energy: A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs. <http://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/landfill>

Більш детальна інформація щодо інших технологій використання високоякісного ЗГ наведена у Керівництві з відбору проектних технологій для житлово-комунального сектору України²⁸, зокрема:

- для виробництва хімічної продукції: метан та діоксид вуглецю, основні компоненти ЗГ, можуть бути використані в якості сировини для деяких хімічних продуктів, таких як метанол або добрива;

- для виробництва діоксиду вуглецю, що відбувається в результаті виділення з ЗГ газових домішок і є супутнім продуктом виробництва палива із ЗГ високої якості. Найбільше використання діоксиду вуглецю в харчовій промисловості, виробництві напоїв та штучного льоду.

На рис. 5.32 наведені основні технологічні напрямки енергетичного використання (утилізації) ЗГ, як біопалива.

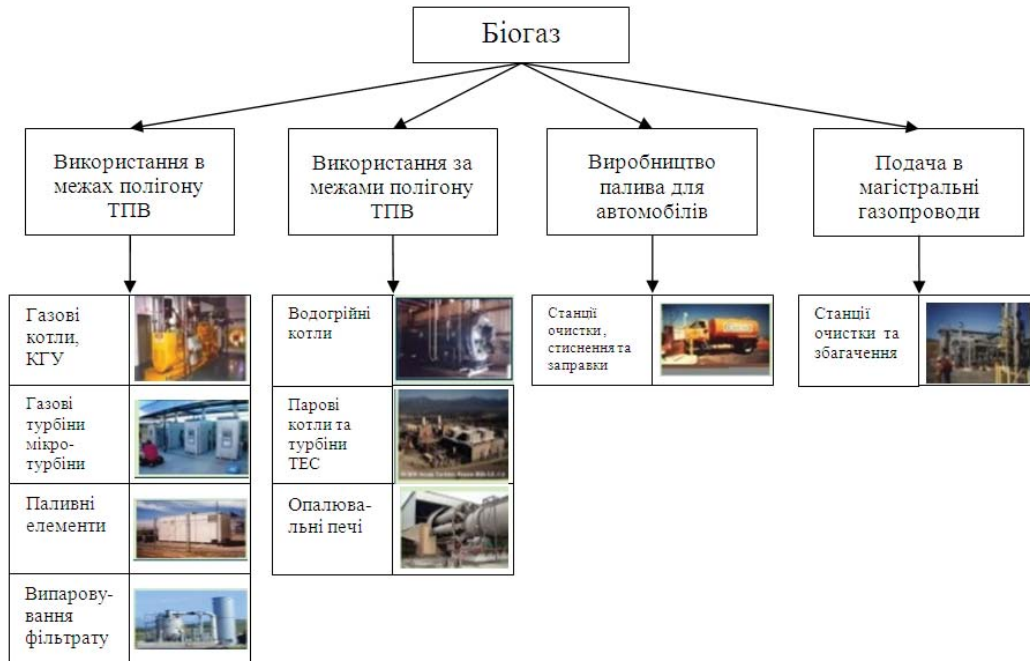


Рис. 5.32 Схема енергетичного використання ЗГ з полігонів ТПВ

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Основні переваги прямого використання ЗГ для виробництва тепла полягають у максимальному використанні енергії цього газу, низьких вимогах до підготовки газу, можливості змішування з іншими видами палива. Безпосередні теплові застосування продемонстровані в широкому діапазоні потужностей проектів, в яких за допомогою ЗГ задовольняються вимоги кінцевого споживача або забезпечується додаток до основних витрат палива споживачем.

Фактори, які слід враховувати при оцінці доцільності проекту прямого використання тепла ЗГ, передбачають:

- *Енергетичні потреби кінцевого споживача з точки зору кількості і якості ЗГ.* Кількість ЗГ і вміст у ньому метану повинні бути розглянуті в порівнянні з потребами

в теплі і парі на об'єкті, а також з вхідною потужністю газоспалювального обладнання. Кінцеві споживачі з великими добовими або сезонними коливаннями попиту на паливо є менш бажаними, оскільки ЗГ збирається на полігоні з відносно постійною витратою. Зберігання ЗГ для відкладеного попиту на об'єкті недоцільно²⁹. Крім того, при аналізі економічної доцільності необхідно враховувати якість газу і, в разі необхідності, спосіб його підготовки для конкретного споживача.

- *Вимоги до модернізації, необхідної для використання ЗГ.* Існують також міркування для кінцевого споживача, який розробляє устаткування або для спільного використання ЗГ з іншими видами палива, або використання ЗГ в якості основного палива з природним газом, або іншим

²⁸ Керівництво з відбору проектних технологій для житлово-комунального сектору України. ПРОЕКТ USAID «МУНІЦИПАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА РЕФОРМА В УКРАЇНІ» (МЕР). Вересень 2015 р.

²⁹ ESMAP. 2004. Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. <http://www.esmap.org/esmap/node/1106>.

паливом в якості резервного джерела. Система подачі палива має бути змінена перед використанням ЗГ. Необхідно встановити пальники і систему управління для подачі палива. Модифікація пальників і системи управління технологічними процесами необхідна для використання котлів. Печі цегельних і цементних виробництв, як правило, здатні працювати в широкому діапазоні якості палива і не вимагають високих витрат на модернізацію.

- *Розташування кінцевого споживача.* Розташування кінцевого споживача визначає необхідну довжину та розміщення трубопроводу ЗГ. Полігон має бути розташований недалеко від кінцевого споживача (зазвичай, на відстані менше 10 або 15 км) для забезпечення адекватного повернення інвестицій в проект, так як капітальні та експлуатаційні витрати на трубопровід довжиною більш ніж 10 км можуть зробити собівартість ЗГ, що постачається, менш конкурентоспроможною в порівнянні з традиційними видами палива. Проте більша відстань може бути економічно доцільною в залежності від кількості ЗГ на полігоні, споживання енергії кінцевим споживачем і цін на паливо³⁰.

Крім того, розташування кінцевого споживача визначає маршрут трубопроводу. Перетин залізниці, водних шляхів або великих транспортних магістралей буде впливати на вартість і доцільність будівництва трубопроводу.

- *Вартість.* Повинні бути враховані витрати, пов'язані з підготовкою ЗГ, трубопроводом і модернізацією обладнання для використання ЗГ, а також експлуатацією і технічним обслуговуванням. Економіка проекту ЗГ поліпшується з наближенням кінцевого споживача до полігону. Крім того, особливості прокладання трубопроводу будуть впливати на витрати і ціну, за якою ЗГ може бути доставлений і проданий кінцевому споживачеві³¹. Кінцевий користувач повинен інвестувати в обладнання, здатне перемикає постачання та використання між ЗГ і традиційними видами палива для усунення ризику довгострокової невизначеності і мінливості потоку ЗГ, а також зміни його якості. Також повинна бути врахована довгострокова фінансова стабільність кінцевого споживача. Для повернення інвестицій може знадобитися термін дії проекту від 10 до 15 років.

ДО ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Географічні обмеження і необхідність модифікації обладнання, пов'язані з прямим використанням ЗГ, можна подолати за допомогою використання ЗГ для виробництва електроенергії безпосередньо на полігоні. В цілому, двигуни внутрішнього згоряння показали себе як найбільш економічно ефективної та надійної технології для виробництва електроенергії з ЗГ, особливо для проектів середнього масштабу. Газові турбіни є варіантом для проектів ЗГ, здатних забезпечити виробничу електричну потужність, принаймні, від 3 до 5 МВт³². Інші фактори, які повинні бути оцінені для виробництва електроенергії з ЗГ, повинні передбачати наступне:

- *Електричний коефіцієнт корисної дії (ККД).* Електричний ККД є показником того, яка частина енергії ЗГ може бути

перетворена в електричну енергію. Електричний ККД змінюється залежно від обраної технології. Двигуни внутрішнього згоряння мають більш високу ефективність, ніж більшість газових турбін.

- *Потенціал вироблення електроенергії.* Надійність обладнання для виробництва електроенергії і безперервність постачання ЗГ визначають фактичну кількість виробленої електроенергії.
- *Технічне обслуговування та ремонт.* Потреба і пріоритет будь-яких запасних частин повинна оцінюватися з урахуванням їх наявності, а також часу, який може знадобитися для їх імпорту. Експлуатація енергетичної установки у відповідності зі специфікаціями обладнання та проведення регулярного планового технічного обслуговування дозволяють знизити знос частин і планувати зупинки, тим самим знижуючи вимушені простой. Розробка

³⁰ World Resources Institute. 2002. Opportunities with Landfill Gas. http://pdf.wri.org/gpmdg_corporate_guide_02.pdf.

³¹ U.S. EPA. 2012. Landfill Gas Energy: A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs. http://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/landfill_methane_utilization.pdf.

³² World Resources Institute. 2002. Opportunities with Landfill Gas. http://pdf.wri.org/gpmdg_corporate_guide_02.pdf.

плану регламентних заходів і регулярний аналіз стану моторного масла важливі для виявлення оператором експлуатаційних проблем на ранній стадії.

- **Здатність реагувати на зміну кількості ЗГ.** Модульне конструктивне виконання двигунів внутрішнього згорання і газових турбін забезпечує гнучке збільшення потужності у відповідності до збільшення або зменшення виробництва ЗГ³³. Двигуни внутрішнього згорання або мікротурбіни можуть додаватися з меншим кроком приросту потужності і з меншими капітальними витратами в порівнянні з газовими турбінами.
- **Якість ЗГ та система його підготовки.** Перед використанням ЗГ з нього видаляють залишкову вологу (конденсат), що не була зібрана в системах видалення конденсату, а також тверді частки та інші домішки. Вимоги до підготовки газу залежать від його кінцевого застосування. Первинною операцією як для виробництва електроенергії, так і прямого використання, є видалення вологи, так як ЗГ насичений парами води, які можуть викликати корозію обладнання. Мінімальна обробка необхідна для прямого використання ЗГ в котельнях, печах або паликових пристроях. Системи очищення ЗГ для електроенергетичних проектів зазвичай передбачають низку фільтрів для видалення забруднень, які можуть пошкодити компоненти двигуна або турбіни та знизити ефективність роботи системи.
- **Наявність точки під'єднання до мережі.** Зазвичай, енергетичні проекти ЗГ по-

кладаються на існуючу інфраструктуру для постачання електроенергії в мережу, тому що витрати на будівництво нової такої інфраструктури можуть виявитися занадто високими. При розробці проекту необхідно вивчити наявність і типи прилеглих ліній електропередач і підстанцій. Наявність лінії електропередач, що підходять для забезпечення під'єднання до електромережі і підстанцій, є перевагою для розвитку проекту. Під'єднання до мережі може бути пов'язано зі значними інвестиційними витратами і вимагає ретельного дослідження системи дозволів і погоджень, яка може значно варіюватися залежно від місцевих умов.

- **Вартість.** Проектні витрати включають капітальні та трудові витрати на придбання та встановлення обладнання, що використовується для підготовки ЗГ та вироблення електроенергії, а також поточні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування (персонал і матеріали, використовувані для експлуатації, планового технічного обслуговування та ремонтів, в тому числі планових періодичних). Двигуни внутрішнього згорання мають порівняно низьку питому капітальну вартість на кВт, але більш високі витрати з експлуатації та технічне обслуговування в порівнянні з газовими турбінами³⁴.
- **Переваги, недоліки та вартісні показники технологій для виробництва енергії із ЗГ.**

У таблиці 5.7 наводиться узагальнення для енергетичних технологій, розглянутих раніше в цьому розділі Керівництва.

Таблиця 5.7

Технології виробництва енергії з ЗГ (переваги та недоліки)

Переваги	Недоліки	Вимоги до підготовки газу
Пряме використання ЗГ середньої калорійності		
<i>Котли, сушарки, тепло промислових процесів</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Можливість утилізувати максимальну кількість ЗГ; – Економічна доцільність; – Мінімальна потреба у видаленні конденсату і фільтрації; – Не вимагає великої кількості ЗГ, можливість змішувати ЗГ з іншими видами палива. 	<ul style="list-style-type: none"> – Витрати залежать від довжини газопроводу; споживач повинен розташовуватися на невеликій відстані. 	<ul style="list-style-type: none"> Потреба поліпшити якість газу або модернізувати обладнання.

³³ ESMAP.2004.Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. <http://www.esmap.org/esmap/node/1106>.

³⁴ ISWA. ISWA Landfill Operational Guidelines. 2nd Edition.

Продовження таблиці 5.7

Переваги	Недоліки	Вимоги до підготовки газу
<i>Інфрачервоні нагрівачі</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Відносно мало витратні; – Простий монтаж; – Не вимагають велику кількість ЗГ; – Можуть встановлюватися паралельно з іншим варіантом використання ЗГ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Сезонні коливання можуть обмежувати споживання ЗГ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Помірне видалення конденсату і фільтрація.
<i>Випаровування фільтрату</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Варіант для полігону з витратною переробкою фільтрату. 	<ul style="list-style-type: none"> – Високі капітальні витрати. 	<ul style="list-style-type: none"> – Помірне видалення конденсату і фільтрація.
Електрика		
<i>Двигун внутрішнього згоряння</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Високий ККД у порівнянні з газовими / мікротурбінами; – Відповідність потужності виходу ЗГ на багатьох полігонах; – Невисока питома вартість в порівнянні з газовими турбінами і мікротурбінами; – Збільшення ефективності при корисному використанні скидного тепла; – Можливість додати / видалити двигун при зміні кількості ЗГ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Відносно висока вартість технічного обслуговування; – Відносно високі газові емісії; – Економічні параметри можуть бути недостатніми в країнах з низькою вартістю електроенергії. 	<ul style="list-style-type: none"> – Щонайменше необхідна первинна підготовка ЗГ; для поліпшення робочих параметрів двигуна може знадобитися вторинна підготовка.
<i>Газова турбіна</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Економіка залежить від потужності, питома вартість на кВт зменшується при зростанні потужності, крім того поліпшується ефективність; – Збільшення ефективності при корисному використанні скидного тепла; – Велика стійкість до корозії; – Низька емісія оксидів азоту; – Відносна компактність. 	<ul style="list-style-type: none"> – Падіння ефективності у випадку роботи на неповному навантаженні; – Вимагає високого тиску газу; – Високі власні (паразитні) навантаження; – Економічні параметри можуть бути недостатніми в країнах з низькою вартістю електроенергії. 	<ul style="list-style-type: none"> – Щонайменше необхідна первинна підготовка ЗГ; для поліпшення робочих параметрів турбіни може знадобитися вторинна підготовка.
<i>Мікротурбіни</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Потрібно низький потік ЗГ; – Може працювати при низькому вмісті метану в ЗГ; – Низька емісія оксидів азоту; – Відносно просте підключення; – Можливість додати / видалити окремі мікротурбіни при зміні кількості газу; – Збільшення ефективності при корисному використанні скидного тепла. 	<ul style="list-style-type: none"> – Економічні параметри можуть бути непривабливими в країнах з низькою вартістю електроенергії. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вимагають досить дорогої первинної і вторинної підготовки ЗГ.
Пряме використання ЗГ високої калорійності		
<i>Біометан (аналог природного газу)</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Може поставлятися в мережі природного газу. 	<ul style="list-style-type: none"> – Високі витрати через необхідність жорсткого регулювання свердловин для обмеження попадання в ЗГ кисню та азоту. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вимагає комплексне і потенційно витратне очищення ЗГ.
<i>Стиснутий (CNG) або скраплений (LNG) біометан</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Альтернативне моторне паливо для техніки на полігоні і сміттевозів, також може поставлятися на комерційний ринок. 	<ul style="list-style-type: none"> – Високі витрати через необхідність жорсткого регулювання свердловин для обмеження попадання в ЗГ кисню та азоту 	<ul style="list-style-type: none"> – Вимагає комплексне і потенційно витратне очищення ЗГ.

Для виробництва електроенергії з ЗГ використовуються технологічні рішення на основі теплових двигунів різних типів. Привабливі енергетичні та економічні показники установок на основі ДВЗ забезпечують їх домінуючу роль. Установки на основі ГТ можливо використовувати при наявності достатньо великої

кількості ЗГ. Перспективне використання МТ, що мають ряд технічних та екологічних переваг, стримується через високу питому вартість.

У таблиці 5.8 наведені типові показники потужності енергетичного устаткування та витрат звалищного газу.

Таблиця 5.8

Типові показники потужності енергетичного устаткування та витрат звалищного газу

Технологія	Типовий рівень газового потоку, м ³ /год	Рекомендована потужність, МВт	Ефективність виробництва електроенергії, %
Мікротурбіни	< 170	<0,100	25-30
Поршневі двигуни	> 250 - < 8 500	0,5-12	32-40
Газові турбіни	>6 500 – < 34 000	3-18	26-32
Парові турбіни	>10 000 - <43 000	10-50	24-29
Парогазові турбіни	> 8 495 - < 42 475	> 10	38-45

Збір та транспортування ТПВ є досить високо витратні операції. Їх вартість складає сьогодні до 80% загальної вартості всієї переробки ТПВ, при цьому транспортні витрати знаходяться в прямій залежності від віддалення місця захоронення. Розповсюджена практика економічної оцінки проектів по видобуванню і використанню ЗГ припускає, що в вартість проекту включають тільки затрати, пов'язані з його добуванням і використанням, а ТПВ уже доставлені на звалище.

Другий можливий підхід до економічної оцінки установки припускає закладання у вартість проекту тільки обладнання для кінцевого використання ЗГ, оскільки витрати на його добування і збір можуть бути віднесені на необхідні природоохоронні заходи, пов'язані з експлуатацією полігонів ТПВ. При такому підході загальні капіталовкладення можуть розраховуватися, як різниця між вартістю проекту по добуванню і енергетичному використанню ЗГ і вартістю проекту по збору і спалюванню ЗГ без комерційного використання.

Вартість комплексу обладнання добування і збору ЗГ не є основною. Вона складає 5-10% загальних капітальних витрат проекту. Основні витрати пов'язані з обладнанням для кінцевого використання ЗГ і необхідною будівлею для його розташування. Окремі капітальні і експлуатаційні затрати значно зменшуються з ростом встановленої потужності установки.

На невеликих звалищах раціонально встановити обладнання для використання ЗГ в пе-

ресувних контейнерах, що дозволяє уникнути витрат на побудову будівлі. Пересувні контейнери можуть бути легко переміщені з одного звалища на інше за умови вичерпання існуючого потенціалу газу. Транспортування ЗГ на велику відстань нерентабельне, споживач газу повинен розташовуватися на відстані не більше 5-10 км від майданчика звалища.

Витрати на технічне обладнання, обслуговування і експлуатаційні відходи установки по використанню ЗГ складають приблизно 10% капітальних затрат на рік. Вартість системи збору ЗГ орієнтовно оцінюється в 10-12 тис. \$ за 1 га площу полігона³⁵.

Потенційним виробником факельної установки відкритого типу для спалювання надлишку ЗГ (до 1000 м³/год) є Інститут газу НАН України. Загальні витрати на виготовлення факельного пристрою і опорної колони (висота 10-12 м, діаметр 150 мм), транспортування, будівництво фундаменту, а також роботи з встановлення та приєднання факела до трубопроводу ЗГ можуть скласти до 25 тис. \$. Витрати на аналогічну факельну установку європейського виробництва складають 27-150 тис. \$³⁶.

Найбільш рентабельним вважається використання ЗГ на відстанях до 3 км від полігона. Якщо така можливість відсутня, то раціональним є використання ЗГ для отримання електроенергії із застосуванням ДВЗ. Термін окупності такої системи складає до 5 років. Зважаючи на визначені Законом України «Про електроенергетику»³⁷ високі «зелені» тарифи на електроенергію

³⁵ Перспективи строительства систем сбора и утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов Украины/Гелетуа Г.Г., Матвеев Ю.Б., Уланов М.Н. <http://www.eco-mir.net/show/1112/>

³⁶ Biogas Flares. State of the Art and Markey Review. IEA Bioenergy. December 2000.

нергію, яка вироблена з біомаси (приблизно 0,12385 євро/кВт·год), найбільш розповсюдженим є отримання з ЗГ електроенергії безпосередньо на полігоні та її продаж до мережі.

Типова питома вартість установок для виробництва електроенергії з ЗГ наведена в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9

Питома вартість установок для виробництва електроенергії з ЗГ³⁸

Установка/Параметр	Одиниця вимірювання	Двигун внутрішнього згорання	Газова турбіна	Мікротурбіна
Діапазон потужності	кВт _{ел}	100...5000	5000...25000	30...100
Питома капітальна вартість	\$/ кВт _{ел}	1500...900	1000...860	3500...3000
Питомі витрати експлуатації	\$/ кВт _{ел}	210...180	130...150	250...180

У таблиці 5.10 представлені типові капітальні та щорічні витрати на базі проектів ЗГ, реалізованих в США. Витрати не передбачають витрати на збір газу і факельні системи. Протягом першого року роботи експлуатаційні витрати

передбачають вартість електрики для роботи компресора і системи сепарації, а також звичайні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування системи доставки ЗГ та енергетичного обладнання.

Таблиця 5.10

Типові капітальні та щорічні витрати для проектів ЗГ на полігонах ТПВ³⁸

Технологія	Капітальні витрати, \$		Щорічні витрати, \$	
Пряме використання ЗГ середньої калорійності				
Пряме використання/ Потужність (м ³ /год)	340	1020	340	1020
Фільтр, компресор та сушарка	848 000	983 000	58 000	85 000
Газовий трубопровід до межі проекту	1 717 000	1 717 000		
Загальні кап. витрати + непередбачені	2 565 000	2 700 000		
Додаткові витрати на модернізацію котлів				
Трубопровід споживача до котла (10 км)	292 000	292 000		
Вимірювальна станція	81 000	81 000		
Модернізація котла	109 000	155 000		
Загальні кап. витрати + непередбачені	3 047 000	3 228 000		
Електроенергія*				
Двигун – когенерація/ Потужність (МВт)	1	3	1	3
Компресор/підготовка, двигун/генератор, роботи, будівля та рекуперация	1 985 000	5 923 000	185 000	552 000
Газовий трубопровід (1 км)	173 000	173 000		
Трубопровід води та циркуляційний насос	304 000	304 000		
Двигун - генератор/ Потужність (МВт)	1	3	1	3
Компресор/підготовка, двигун/генератор, роботи та будівля	1 665 000	4 995 000	184 000	553 000
Газова турбіна/ Потужність (МВт)	3	5	3	5
Компресор/підготовка, двигун/генератор, роботи та будівля	6 340 000	9 496 000	398 000	664 000
Пряме використання ЗГ середньої калорійності				
Постачання в газову мережу/ Потужність (м ³ /год)	1020	3400	1020	3400
Компресор, сепаратори, сушарка для постачання в газову мережу	4 094 000	8 741 000	266 000	886 000
Трубопровід (10 км)	1 717 000	1 717 000		
Загальні кап. витрати + непередбачені	5 811 000	10 458 000		

* - Вартість підключення до мережі не враховується

³⁷ <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80/page3>

³⁸ Jaramollo P., Matthews H.S. Landfill- Gas-to-Energy Projects: Analysis of Net Private and Social Benefits // Environment science and technology. – 2005. – Vol. 39, № 19. – P. 7365– 7377.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЗВАЛИЩНОГО ГАЗУ

Міграція в атмосферу метану з поверхні звалищ земного шару щорічно складає 10-30 млрд. м³ або 8-20 млн. т. Для метану від усіх наземних джерел - 4%, що дозволяє рахувати розширення звалищ однією із причин збільшення концентрації метану в атмосфері. Цей процес сприяє підсиленню парникового ефекту. Вплив на підсилення парникового ефекту міграції в атмосферу одиниці маси метану в 21 раз сильніше, ніж одиниці маси вуглекислого газу.

Для ефективного добування ЗГ потрібні такі інженерні заходи: виконання бокових поверхонь звалища газонепроникними; покриття звалища шаром ґрунту; відведення стоків атмосферних опадів від звалища. Це дозволяє

зменшити викиди метану в атмосферу, забруднення оточуючого нас середовища фільтратом і поганими запахами, а також розповсюдження хвороботворних бактерій.

З точки зору екології, використання ЗГ в установках з різними тепловими двигунами призводить до суттєвого зменшення емісій в атмосферу такого парникового газу, як метан. Однак, в результаті згоряння метану в розглянутих установках утворюються шкідливі викиди оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO), оксидів сірки (SO_x) і сажі, які можуть завдавати шкоди навколишньому середовищу. У таблиці 5.10 представлені дані про викиди шкідливих речовин виробників деяких з найбільш часто використовуваних установок для виробництва електроенергії з ЗГ ТПВ³⁹.

Таблиця 5.10

Розрахункові викиди установок для виробництва електроенергії з ЗГ

Виробник/ Параметр	Одиниця вимірювання	ДВС GE Jenbacher JMS 312 GS-B.L	ГТ Solar Centaur 40	МТ Capstone CR65
Потужність установки	кВт _{ел}	500	3 000	60
Оксиди азоту (NO _x)	г/кВт _{ел} -год	1,49	0,73	0,21
Оксид вуглецю (CO)	г/кВт _{ел} -год	2,72	0,90	1,81

Наведені дані показують, що порівняно великі викиди шкідливих речовин на одиницю виробленої електроенергії формуються в ДВС, що може призводити до обмеження використання цих установок, або необхідності зниження викидів за допомогою додаткових пристроїв. Необхідно пам'ятати про те, що в ЗГ можуть бути присутніми в незначних кількостях органічні сполуки (наприклад, сірководень, аміак, ароматичні вуглеводні і ін.), спалювання яких може призводити до утворення додаткових шкідливих речовин.

Видно, що в діапазоні наведених потужностей установки на основі МТ характеризуються найвищою питомою вартістю, а тому рідко використовуються. При збільшенні потужності економічну перевагу мають установки на основі ДВЗ і тільки при великих потужностях, які

виходять в результаті утилізації великої кількості ЗГ, що можливо тільки на великих полігонах, доцільно впроваджувати установки на основі ГТ.

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Впровадження сучасних методів та технологій у сфері поводження з побутовими відходами в 2014 році за даними Мінрегіонбуду України незадовільне⁴⁰.

Сьогодні на 31-му полігоні України наявна система збирання фільтрату, в тому числі на 22 полігонах наявна система знезараження фільтрату, на інших – влаштовано резервуари-накопичувачі або фільтрат накопичується у вигрібах, лотках, звідки періодично транспортується на міські очисні споруди.

³⁹ Тенденции развития технологий энергетической утилизации биогаза с производством электроэнергии на полигонах ТБО/ Куцкий Д.В., Матвеев Ю.Б., Пухнюк А.Ю.// Промышленная теплотехника. – 2011, т.33, №6.- с.64-72 <http://www.biomass.kiev.ua/images/library/articles/article-6-2011.pdf>.

⁴⁰ <http://www.minregion.gov.ua/zhkh/Blahoustri-terytoriy/informaciya-schodo-vprovadzheniya-suchasnih-metodiv-ta-tehnologiy-u-sferi-povodzhennya-z-pobutovimi-vidhodami-stanom-na-01-10-20-336746/>

На 17 полігонах влаштовано систему вилучення ЗГ: у м. Вінниця, с. Рожівка Броварського р-ну Київської обл., м. Бровари, м. Ужгород, м. Запоріжжя, м. Кременчук, м. Львів, м. Чернігів, с. Нова Долина Овідіопольського р-ну Одеської обл., с. Підгірці Обухівського р-ну Київської обл., м. Миколаїв, м. Житомир, м. Маріуполь (Приморський полігон та полігон Орджикідзевського р-ну), м. Ялта, м. Алушта та м. Луганськ. Із них на 17 полігонах застосова-

не факельне спалювання ЗГ, на 1 полігоні влаштовано систему відведення ЗГ, на 6 полігонах експлуатуються когенераційні установки. В м. Біла Церква Київської області та м. Бердянськ Запорізької області проводяться проектні роботи щодо збору та утилізації ЗГ на наявних полігонах.

В таблиці 5.11 наведені показники деяких реалізованих в Україні проектів зі збору та утилізації ЗГ на полігонах ТПВ. Такі проекти мають тенденцію до поширення та за оцінками спеціалістів їх доцільно реалізовувати на полігонах ТПВ в містах з населенням більше 100 000 мешканців.

В Україні накопичено суттєвий досвід з реалізації проектів щодо збору, підготовки та утилі-



Рис. 5.33 Станція утилізації ЗГ для виробництва електроенергії (полігон №5, м. Київ, Україна)

зації ЗГ та є підприємства, які мають спроможність виконати весь комплекс робіт у цьому напрямку: від обстеження, проектування, постачання обладнання, будівництва, монтажу, налагоджування та до введення в експлуатацію когенераційних установок, зокрема, спільне українсько-німецьке підприємство «Альтернативні Енергосистеми і Технології захисту навколишнього середовища» (реалізовані проекти в містах Вінниця, Кременчук, Запоріжжя та заплановані проекти в містах Черкаси та Харків), ТОВ «ЛНК» (реалізовані проекти в містах Києві, Борисполі, Броварах та заплановані проекти в містах Житомир та Миколаїв), Компанія «ТІС Еко» (реалізовані 2 проекти в місті Маріуполь) та інші.

Таблиця 5.11

Показники проектів зі збору та утилізації ЗГ в Україні

Розташування полігону	Система збору ЗГ			Система утилізації
	Кількість свердловин, од.	Середня витрата, м ³ /год	Вміст метану, %	Тип та потужність обладнання
м. Хмельницький	3	20 - 30	35-45	4 Інфрачервоні обігрівачі × 30 кВт _{тепл}
м. Алушта	30	400-450	42-45	Факел 500 м ³ /год та 1 ДВЗ × 60 кВт _{ел}
м. Ялта (п. Гаспра)	66	650	48	Факел 800 м ³ /год та 1 ДВЗ × 60 кВт _{ел}
м. Львів	160	1400-1700	40-45	Факел 2000 м ³ /год та 1 ДВЗ × 60 кВт _{ел}
м. Луганськ	30	200	35-40	Факел 600 м ³ /год
м. Запоріжжя	85	900	48	Факел 1500 м ³ /год
м. Кременчук	14	380	47	Факел 500 м ³ /год
м. Вінниця	12	420	52	Факел 500 м ³ /год
м. Київ (Полігон №5)	33	460	52	5 ДВЗ × 177 кВт _{ел}
м. Маріуполь (Приморський)	48	200	30-40	Факел 800 м ³ /год та 1 ДВЗ × 200 кВт _{ел}

ВИСНОВКИ

У світі налічується понад 1700 установок для виробництва електроенергії з ЗГ на полігонах ТПВ загальною потужністю 3,5 ГВт. Велика частина установок працює в розвинених країнах Європи, але найбільша генеруюча потужність припадає на країни Північної Америки.

Україна має достатній потенціал для реалізації проектів збору ЗГ з полігонів ТПВ, який зараз практично не освоєний. Освоєння цього потенціалу має стратегічне значення, оскільки дозволяє вирішувати енергетичні проблеми країни (заміщення використання природного газу) та екологічні проблеми експлуатації полігонів ТПВ. Утилізація ЗГ можлива в різних теплових двигунах та пристроях. Але з економічної точки зору найвигіднішою технологією утилізації є використання двигунів внутрішнього згоряння з електрогенераторами для виробництва електроенергії на основі різних теплових двигунів. Збір та утилізація ЗГ регламентується чинними нормативними документами України щодо облаштування існуючих та майбутніх полігонів ТПВ.

Енергетичні та економічні показники установок на основі двигунів внутрішнього згоряння забезпечують їх домінуючу роль. Установки на основі газових турбін можливо використовувати при наявності достатньо великої кількості ЗГ. Перспективне використання мікротурбін, що мають ряд технічних та екологічних переваг, стримується через високу питому вартість.

Основними характеристиками полігонів ТПВ для оцінки їх енергетичного потенціалу є: час із моменту їх відкриття (років); середня кількість ТПВ, що надходять на полігон (т/рік), компонентний склад. Для оцінки якості ЗГ і можливих обсягів його видобування необхідно здійснити пробний відбір шляхом виконання як мінімум десяти свердловин (вартість однієї становить 8...12 тис. євро). Одна свердловина охоплює територію в радіусі 30...50 м. Кількість ЗГ залежить від вмісту органічних

фракцій, вологості, температури, щільності відходів тощо.

Питомі інвестиції для впровадження збирання ЗГ на полігонах становлять 100...120 євро/т ТВП у рік. Вихід ЗГ – 100 м³/т ТПВ. Найбільш рентабельним є збирання біогазу на полігоні, де захоронено понад 5 млн. т ТПВ з висотою складування не менше 10 м. Переважно такі параметри мають полігони ТПВ міст із населенням більше 100 тис. мешканців. Оптимальний вік полігону для збирання ЗГ – 5...10 років. При витраті біогазу не менше 500 м³/год доцільним є встановлення когенераційної установки. Збір ЗГ необхідно проводити протягом не менше 25 років після закриття полігону⁴⁰.

Наявність споживача електричної /теплової енергії поблизу полігону значно підвищує економічний ефект від використання ЗГ в когенераційній установці для вироблення електричної та теплової енергії. При цьому частка метану має становити не менше 40%, а мінімальна витрата газу для спалювання не менше 500 м³/год.

При постачанні виробленої електроенергії в мережу, її вартість визначається відповідно до закону України «Про електроенергетику» щодо встановлення «зеленого» тарифу на електроенергію, яка вироблена з біогазу (приблизно 0,12385 євро/кВт·год). Оптимальним варіантом використання теплової енергії з забезпеченням теплом та гарячою водою місцевих споживачів. Питома теплота згорання ЗГ залежить від вмісту метану та знаходиться в межах 4300 ... 5400 ккал/м³.

Загальний наявний потенціал ЗГ в Україні складає 1,35 млрд. м³/рік (ЗГ виділяють відходи, захороненні протягом останніх 20 років). Його енергетичний потенціал - 0,9 млн. т у. п./рік (біля 0,4% споживання первинних енергосилов в Україні). Щодо виробництва електрики, енергетичний потенціал ЗГ оцінюється в 400 ГВт·год/рік електричної енергії. Використання наявного потенціалу ЗГ дозволить зменшити викиди парникових на 240 тис. т CO₂ екв/рік.

⁴⁰ Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії: практичний посібник/ Під ред. Тормосова Р.Ю. та інш.- Київ, ТОВ «Поліграф плюс», 2015. – 176 с.

ВИСНОВКИ

ВИСНОВКИ

Сучасне житлово-комунальне господарство (ЖКГ) – це багатогалузевий комплекс, який включає в себе взаємозалежні, але в той же час і досить автономні підприємства та організації виробничої сфери, сектор економіки якої безпосередньо задовольняє потреби населення в створенні комфортних умов для проживання та життєдіяльності громадян. Система житлово-комунального господарства являє собою важливу сферу життєдіяльності людського суспільства. Без її ефективного функціонування неможливе забезпечення нормальних умов існування.

Одним з важливих напрямків ефективного функціонування ЖКГ є енергетична ефективність, яка передбачає створення комфортних умов для проживання та життєдіяльності населення при максимально ефективному споживанні всіх енергетичних ресурсів.

Сучасне ЖКГ України характеризується вкрай низькою енергетичною ефективністю, що є причиною не тільки погіршення якості послуг, які надаються підприємствами цієї галузі, а й підвищення тарифів, що негативно сприймається суспільством.

В цьому посібнику наведено короткий опис найкращих з доступних технологій, які можуть бути впроваджені у найбільш енергоємних галузях ЖКГ, таких як тепло- та водопостачання, громадський транспорт, внутрішнє та зовнішнє освітлення, утилізація побутових відходів тощо.

Впровадження сучасного, енергоощадного обладнання та технологій у ЖКГ дозволить перейти на якісно новий рівень надання послуг населенню, скоротити споживання енергоресурсів, зокрема викопних (таких як природний газ), а також покращити екологічну ситуацію в країні.

Такий концептуальний підхід до екологоенергетичної модернізації ЖКГ має бути невідомою частиною стратегії низьковуглецевого розвитку України.



«КРАЩІ З ДОСТУПНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ»

Керівництво з відбору технологій

Авторський колектив:

*Василь Вовчак, Олександр Тесленко,
Олексій Самченко, Діана Сушкова*

Редакція:

Сергій Єрмілов

Рецензенти:

*Євген Нікітін, Володимир Федоренко, Руслан Тормосов, Вадим Литвин,
Анатолій Колієнко, Семен Драгнєв, Олена Чернікова, Олексій Соломаха,
Тетяна Литвин, Михайло Шарков, Юрій Грисюк, Олег Горбунов*

Дизайнери:

Інна Коваленко

Благодійна допомога. Продаж заборонено.

Підписано до друку 15.02.2016. Формат 60×84 1/8
Друк офсетний. Папір офсетний. Гарнітура PragmaticaC.
Обл. вид. арк. 16,00. Умов. друк. арк. 14,88.
Тираж 1000 прим. Замовлення № 150216

ТОВ «Поліграф плюс»
03062, м. Київ, вул. Туполева, 8.
тел./факс: (044) 502-39-78 (доб.119)
e-mail: office@poligraph-plus.kiev.ua
www.poligraph-plus.kiev.ua

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
№ 5041 (серія ДК) від 26.01.2016 р.

