

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.11>

УДК 621.311:
615.1:378

ТАРАСЕНКО Г. В., ЗМІЄВСЬКА І. С., САЛІЙ О. О., ПОПОВА М. Е.
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

Мета. Проведення аналізу сучасних технологій виробництва лікарських засобів та обґрунтування практичних заходів щодо використання енергоефективних технологій з метою оптимізації та мінімізації споживання енергії при збереженні та гарантії якості готової продукції.

Методика. Аналітичний огляд наукової, науково-практичної та статистично-аналітичної літератури з метою систематизації та оптимізації даних, які можуть бути застосовані для енергозбереження на підприємствах фармацевтичної галузі.

Результати. Досліджено структури енергоспоживання фармацевтичної промисловості та проаналізовано шляхи оптимізації енергоефективності виробництва лікарських засобів, які можна впроваджувати як на рівнях окремих стадій, операцій, процесів, систем, так і для підприємства в цілому. Проведено системний аналіз технологій та технологічних процесів виробництва, запропоновано шляхи їх оптимізації для мінімізації споживання енергії та підвищення енергоефективності при збереженні якості готової продукції та підвищення конкурентоспроможності її на ринку.

Наукова новизна. Обґрунтовано теоретичні аспекти заходів з енергозбереження фармацевтичних виробництв, запропоновано шляхи оптимізації щодо підвищення їх енергоефективності, інтенсифікації процесів виробництва, оптимізації проектування та контролю виробничих процесів і технологічних систем для досягнення кумулятивного ефекту заощадження енергетичних ресурсів.

Практична значимість. Визначення заходів з підвищення енергоефективності виробництв фармацевтичної галузі дозволить зменшити споживання енергії під час виробництва, запровадити заходи постійного моніторингу та контролю споживаної енергії з метою забезпечення безперебійності виробничих процесів та уникнення скорочення обсягів виробництва лікарських засобів через перебої в енергопостачанні.

Ключові слова: енергозберігаючі технології; енергетичний менеджмент; лікарський засіб; фармацевтичне виробництво.

Вступ. Підтримка стабільності роботи вітчизняних фармацевтичних виробників є реальним пріоритетом для створення сприятливих умов та стимулювання економічного розвитку держави, що дозволяє гарантувати залучення інвестицій у діяльність виробництв лікарських засобів, збільшити кількість робочих місць, уникнути колапсу у забезпеченні медичної системи ліками. Незалежність країни, її національна безпека складається з багатьох чинників, серед яких є й фармацевтична незалежність, оскільки фармацевтичне виробництво здатне гарантувати її, забезпечуючи як армію, так і населення значною частиною необхідних ліків. Інституційна підтримка фармацевтичного виробництва не потребує прямих дотацій оскільки фармацевтична галузь є повністю самодостатньою і займає 4,1% ВВП переробної промисловості. Лікарські засоби вітчизняного виробництва експортуються до багатьох країнах світу, і за останні 5 років їх експорт збільшився на 64%. Вже сьогодні українські підприємства, за даними дослідницької компанії Proxima Research, займають значну частину фармацевтичного ринку в споживанні – 65% та виготовляють 61% ліків з Національного переліку лікарських засобів. Два з трьох лідерів ринку з продажу фармацевтичних препаратів – саме українські компанії. В Україні 113 заводів з виробництва лікарських засобів, більшість з них оснащені на високому світовому рівні, не тільки не поступаючись, а й перевершуючи технологічно конкурентів з європейських країн.

Оскільки фармацевтичні компанії стикаються зі зростаючою конкуренцією, вони шукають можливості знизити витрати виробництва без негативного впливу на виробництво

або якість готової продукції. Нестабільність цін на енергоносії негативно впливає на фінансові результати. Проблему підтримки високої якості продукції при одночасному зниженні витрат на виробництво можна вирішити шляхом інвестицій в енергоефективні технології та програми енергоефективності. Енергоефективні технології можуть мати додаткові переваги, такі як покращення якості, збільшення виробництва та підвищення ефективності процесу, що може призвести до подальшого підвищення продуктивності. Енергоефективність також є важливою складовою екологічної стратегії компанії, оскільки підвищення енергоефективності може призвести до скорочення викидів забруднюючих речовин [1].

Постановка завдання. З точки зору енергетики, фармацевтична промисловість щорічно споживає енергію на мільярди доларів. Підвищення енергоефективності виробництва лікарських засобів є важливим способом зниження витрат і збільшення передбачуваних прибутків, особливо в часи високої нестабільності цін на енергоносії. Одним із шляхів вирішення проблеми є істотне зменшення енергоємності виробництва за рахунок застосування новітніх технологій і обладнання, сучасних стандартів, ефективних систем контролю, керівництва та обліку використання продуктів енергетики, механізмів стимулювання збереження енергії. Заходи з підвищення енергоефективності та енергозбереження мають бути спрямовані на удосконалення енергетичних характеристик виробництва, забезпечення постачання різних типів енергії, оптимізації управління та контролю енергоспоживання.

Результати досліджень. Глобальне споживання енергії різко зросло за останні роки і, за прогнозами, продовжуватиме зростати. Очікується, що до 2050 року споживання відновлюваної енергії зросте і досягне приблизно 247 ЕДж (ексаджоулів). Для порівняння, загальне споживання енергії з відновлюваних джерел у 2000 році становило 42 ексаджоулі [2].

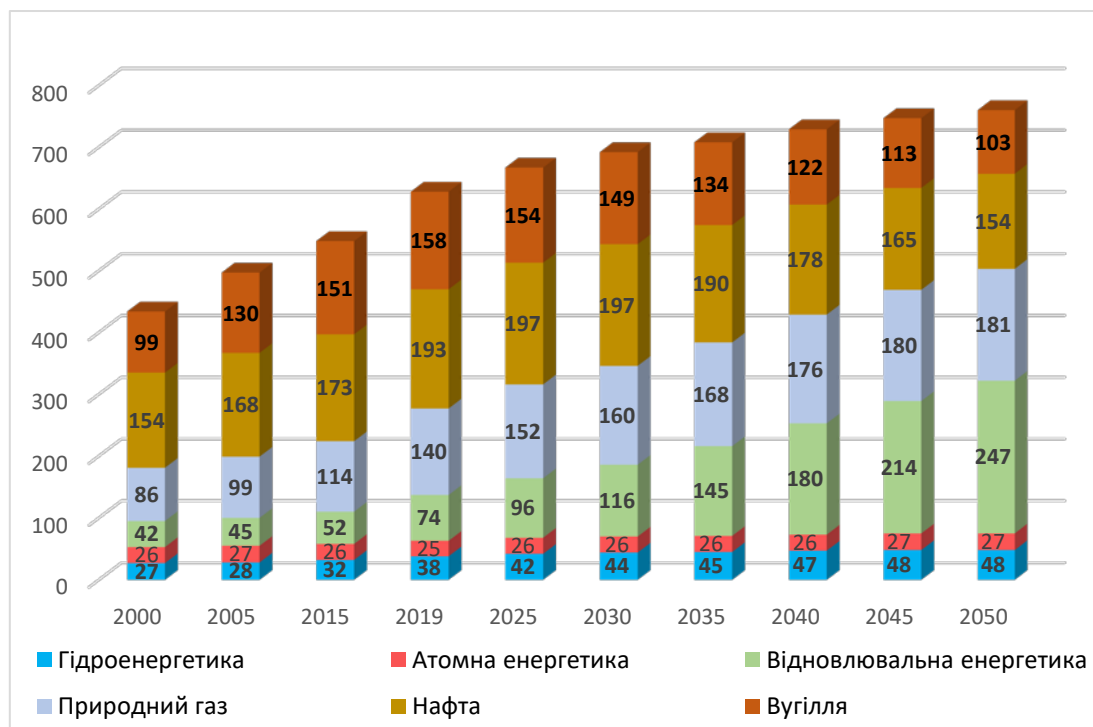


Рис. 1. Споживання енергії в усьому світі з 2000 по 2019 рік, з прогнозом до 2050 року, за джерелами енергії (в ЕДж)

Загалом світове споживання первинної енергії зросло за останнє десятиліття, але очікується, що найбільше зростання воно спостерігатиметься в країнах з економікою, що розвивається, наприклад у країнах БРІКС – Бразилії, Росії, Індії та Китаї. Первинна енергія – це енергія природних ресурсів – нафта, природний газ та вугілля, до їх подальшої переробки.

Наприклад, нафту перероблюють у вторинне паливо – бензин або дизельне паливо, тоді як вітер використовують для отримання електроенергії, що є вже вторинним джерелом енергії. Загальне постачання первинної енергії до країни є показником первинних джерел енергії в країні. Водночас енергія кінцевого споживання – це енергія, яка безпосередньо використовується споживачем, і включає вугілля, природний газ, а також вторинні джерела, такі як електроенергія, бензин та ін. Розподіл споживання енергії в усьому світі є непропорційно різним серед певних країн. Відновлювана енергія включає сонячну енергію, енергію вітру, гідроелектроенергію, біомасу та геотермальну енергію. За останні 20 років споживання відновлюваної енергії різко зросло. Останні дані показують, що відновлювана енергетика зростає як частка споживання первинної енергії в усьому світі. Розподіл ТОП-20 країн світу за споживанням первинної енергії в усьому світі у 2022 році наведено на рис. 2. Як видно з рис. 2 – Китай є найбільшим споживачем первинної енергії у світі, використовуючи приблизно 159,39 ЕДж (33%), що є більшим, ніж споживають у США (95,91 ЕДж, 20%), які посідають друге місце [3].

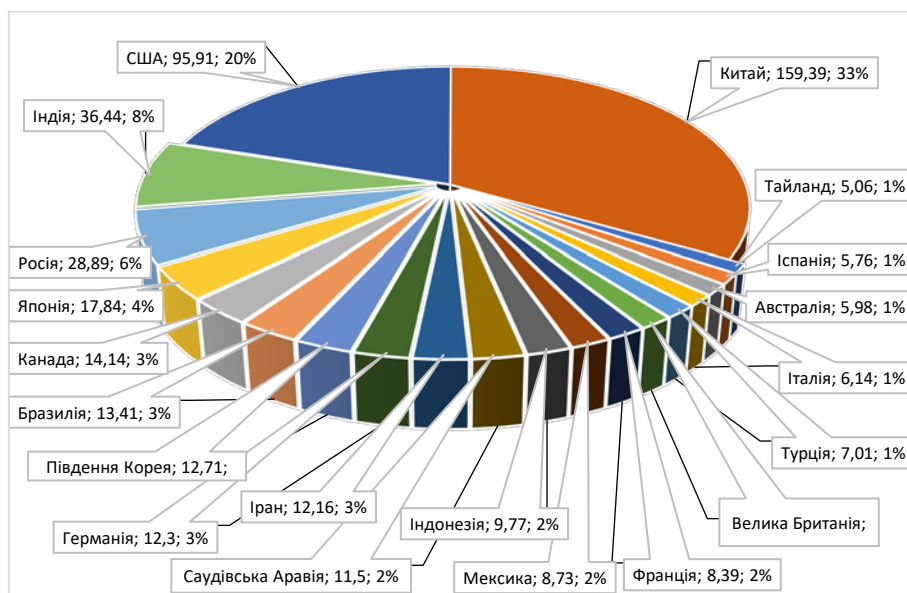


Рис. 2. Розподіл споживання первинної енергії в усьому світі у 2022 році за країнами

Зараз Україна, як і країни Європи, стикається з високою нестабільністю щодо постачання енергії та цін на енергоносії, і ця проблема може спостерігатися ще й в найближчі роки. Лише у 2022 році середня вартість виробництва електроенергії в Європейському Союзі зросла на понад 40%. Крім того, Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) заявляє, що зараз вони перебувають в «періоді надзвичайної турбулентності на енергетичних ринках, особливо природного газу» [4].

Фармацевтичний сектор ще не досяг свого рівня критичності; однак збільшення вартості енергоносіїв на 15-20% може призвести на підвищення вартості ліків як для пацієнтів, так і для системи охорони здоров'я, навіть в умовах державного регулювання цін на лікарські засоби. У деяких випадках переривання виробництва в умовах нестабільного постачання енергоносіїв також є ризиком, тому більшість фармацевтичних компаній вимушені переглядати свої плани щодо забезпечення безперервності процесу виробництва з урахуванням застосування додаткових альтернативних джерел енергії (вітер, сонце тощо), застосування резервного обладнання, такого як генератори для виробництва електроенергії під час її відсутності або дефіциту.

За даними [5] енергоспоживання великих фармацевтичних компаній, таких як Sanofi, GlaxoSmithKline або Johnson & Johnson, перевищує 3 ТВт·год./рік (зі співвідношенням 0,7–1,0 кВт·год на 10 доларів США від продажів у середньому). Аналіз витрат на енергоносії серед 6 лідерів світових фармацевтичних компаній є досить складним для порівняння через різні рівні аутсорсингу виробництва та різні асортименти виготовляємої продукції (рис. 3).

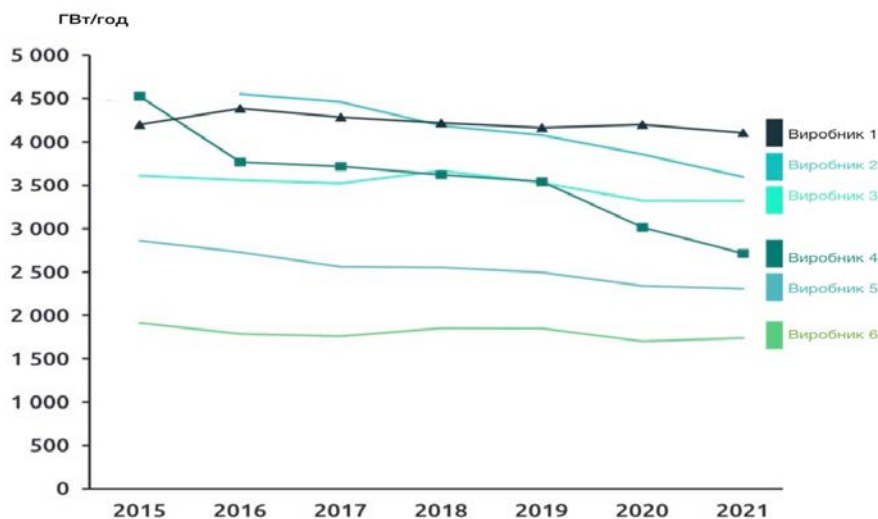


Рис. 3. Енергоспоживання та енергоємність шести основних світових фармацевтичних компаній

Фармацевтичні фірми стикаються з необхідністю підтримувати безпечні умови навколишнього середовища, а також зменшувати споживання енергії та витрати на експлуатацію підприємства. Регуляторні органи та асоційовані організації по всьому світу вимагають усе більш суворих стандартів. Ключова вимога полягає в тому, щоб мати повний облік усіх даних щодо умов навколишнього середовища, процесів і параметрів розробки та виробництва ліків. Ці дані мають важливе значення для фармацевтичних фірм, щоб продемонструвати якість продукції та підтримання належного виробничого процесу [6].

Впровадження в Україні належної виробничої практики GMP та сучасних виробничих технологій в умовах обмежених паливно-енергетичних ресурсів та зростання цін на енергоносії потребує від підприємств вітчизняної фармацевтичної галузі пошуку ефективних заходів зменшення енергоспоживання [7].

Ще однією з проблем, з якою стикнулися вітчизняні фармацевтичні виробники в умовах військового стану 2022 року, стало відключення електроенергії та перебої в електропостачанні. Пристосовуючись до нових реалій, компанії намагалися балансувати на межі можливого. Через блекаути підприємства вимушені були перебудувати свою роботу: деякі виробничі процеси перенести на нічну зміну та вихідні, а для зниження піків споживання на окремих ділянках встановити графік послідовної роботи. Коментуючи роботу компанії в умовах воєнного часу виконавчий директор фармацевтичної компанії АТ "Фармак" (м. Київ) Володимир Костюк зазначив, що «виробничі процеси дуже страждають від перебоїв електропостачання та відключень. При зупинці понад 30 хвилин продукція чи сировина може бути забракована та знищена, а повторна підготовка приміщень та обладнання у такому разі триває понад вісім годин. Це призводить до зриву виробничих планів, суттєвих фінансових втрат та можливого дефіциту в аптеках життєво необхідних для населення препаратів. Від екстрених відключень та нестабільної напруги виходять з ладу елементи виробничого обладнання, вартість яких – десятки тисяч євро, а терміни постачання нових компонентів – два-три місяці і навіть більше. Інвестиції "Фармака" в обладнання в період блекаутів вже

перевищили позначку 50 млн. грн.». Директор з корпоративних комунікацій ПрАТ "Фармацевтична фірма "Дарниця" (м. Київ) Василь Губарець аналізуючи вплив війни на роботу фармкомпанії зазначив, що в режимі економії електроенергії "Дарниця" вимикала зовнішнє освітлення території та офісу/заводу, посилила контроль за режимом роботи обладнання та запровадила концепт "Економний офіс" [8].

Щоб відповідати нормам і виготовляти якісну готову продукцію, фармацевтичне виробництво у відповідності до вимогам GMP потребує постійного, жорсткого контролю та моніторингу якості повітря, температури та вологості на кожному етапі процесу. Загалом витрати на підготовку повітря, опалення, вентиляцію та кондиціювання повітря (HVAC) загалом складають більше 50% від загального споживання енергії. Незалежно від того, чи йдеться про синтез активних фармацевтичних інгредієнтів, чи про розробку та виробництво ліків усі етапи є енергоємними процесами [9]. Розподіл енергоспоживання фармацевтичної компанії наведено на рис. 4. Як видно з рис. 4 більше двох третин енергії, що використовується в будівлях, витрачається для опалення, вентиляцію та кондиціювання повітря, а решта необхідна для роботи обладнання та машин.

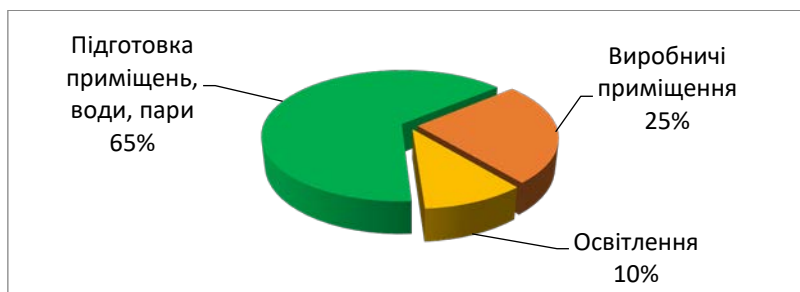


Рис. 4. Розподіл енергоспоживання фармацевтичної компанії

Отже, програма енергоефективності повинна охоплювати як рівні компонентів, процесів, систем, так і підприємства в цілому, тому виділяють індивідуальні енергозберігаючі заходи (для одного елементу), групові (для групи елементів), загальноцехові чи загальновиробничі (комплекс заходів в межах цеху або структурної одиниці чи в цілому виробництва). Термін окупності заходів може складати 1–3 роки (короткостроковий), 4–5 років (середньостроковий), понад п'ять років (довгостроковий) [10].

До ключових факторів, що впливають на енергоспоживання фармацевтичного підприємства, належать тип підприємства (наприклад, відділ дослідження та розробка чи серійне виробництво), вид продукції (лікарські форми), розташування та ефективність основних систем підприємства.

На думку акторів [11] найкращого результату енергоефективності можна досягнути завдяки впровадженню заходів зі значними капітальними витратами. Але поряд з ними необхідно розглядати й мало витратні, або безвитратні шляхи енергозбереження, які мають перспективу та значний потенціал і при цьому потребують тільки структурних організаційних змін в управлінні фармацевтичним виробництвом.

Розподіл енергетичних витрат за сферами діяльності фармацевтичного виробництва наведено в таблиці 1.

Ступінь впровадження енергоефективних заходів залежить від виробництва та кінцевого продукту; постійна оцінка цих заходів допоможе визначити економію коштів у поточних програмах енергозбереження.

Так, енергоефективність будівлі краще прораховувати під час проектування. А встановлення мікропроцесорних засобів керування на системах опалення, вентиляції та кондиціювання дозволить програмувати мікроклімат приміщення на основі зовнішньої

температури, що призведе до зниження на 10% загального споживання теплової енергії. Подальше підвищення енергоефективності можна досягнути завдяки встановленню фільтрів рекуперації тепла на виходах повітря системи, що призведе до очікуваної економії енергії приблизно на 3% на кожен градус. Завдяки оптимізації повітряного потоку можна зменшити навантаження на вентиляційні установки будівлі, що гарантуватиме зменшення споживання ресурсів.

Таблиця 1

Розподіл енергетичних витрат фармацевтичного виробництва за сферами діяльності

Сфери діяльності	Споживання енергії, %	Обладнання та процеси	Освітлення	Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря
Науково-дослідні роботи (R&D)	30	Мікроскопи; Центрифуги; Електричні міксери та шейкери; Аналітичне обладнання; Стерилізаційні процеси; Холодильники; Підтримання температурних режимів	Робоче та верхнє освітлення	Вентиляція чистих приміщень і витяжних шаф; Зони постійного мікроклімату; Охолоджена вода; Гаряча вода і пара
Офісні приміщення	10	Офісне обладнання; Комп'ютери; Копіювальні машини; Принтери; Підігрів води	Робоче, верхнє та зовнішнє освітлення	Опалення приміщення; Охолодження; Вентиляція
Серійне виробництво	35	Центрифуги; Стерилізаційні процеси; Сушарки; Сепараційні процеси	Робоче та верхнє освітлення	Вентиляція чистих приміщень і витяжних шаф; Зони постійного мікроклімату; Охолоджена вода; Гаряча вода і пара
Рецептура, наповнення та пакування	15	Електричні двигуни; Змішувачі	Переважно накладні витрати; Окремі завдання	Вентиляція з контролем вмісту часток
Складські приміщення	5	Електроприлади; Підігрів води	Верхнє освітлення	Опалення приміщення; Охолодження
Інше	5		Верхнє освітлення	
Разом, %	100	25	10	65

Також ефективним буде: здійснення утеплення будівель для холодного клімату чи використання світловідбиваючого покриття на даху для теплого клімату; встановлення вікон з низьким рівнем випромінювання; використання системи сонячного опалення тощо.

ТОВ "Фармацевтична компанія "Здоров'я" (м. Харків, Україна) застосувала в своїх приміщеннях енергоефективну систему опалення українського виробництва – кліматичні

панелі EFFI вітчизняного виробництва. Водяні інфрачервоні стельові кліматичні панелі EFFI працюють за принципом прямого нагріву приміщень, минаючи стадію нагріву всього об'єму повітря. Це дозволяє підтримувати в приміщенні комфортну відчутну температуру, знизивши температуру повітря. Такий принцип роботи дозволяє досягти показників економії на енергоресурсах до 50%.

В чистих приміщеннях енергія, яка необхідна для роботи, розподіляється наступним чином: 56% – для охолодження, 36% – для опалення, 5% – для вентиляторів і 3% – для насосів [12]. Енергозберігаючі заходи повинні включати: оптимізацію швидкості обміну рециркуляційного повітря; покращення якості й ефективності фільтрації повітря; встановлення фільтрів з низьким перепадом тиску; оптимізацію системи охолодженої води; зменшення об'єму потоку витяжного повітря; рекуперацію тепла у витяжних системах чистих приміщень. Іноді простим заходом ефективності є декласифікація приміщень із вищого класу чистоти до нижчого за умови, що даний клас усе ще відповідає виробничим вимогам щодо контролю забруднення та швидкості обміну повітря.

Розглядаючи питання підвищення енергоефективності двигунів, важливо використовувати системний підхід, який спрямований на оптимізацію енергоефективності всіх систем двигуна, тобто двигунів, приводів, керованого обладнання, такого як насоси, вентилятори та компресори, а також засобів керування. Програма енергоефективності починається з вибору енергоефективних двигунів правильного розміру і включає їх правильне встановлення, профілактичне та технічне обслуговування, моніторинг зносу, аналіз вібрації, тиску струму, корекцію коефіцієнта потужності, мінімізацію дисбалансу напруги тощо.

Вибір правильного насоса часто економить як експлуатаційні, так і капітальні витрати. Моніторинг у поєднанні з належною програмою технічного обслуговування можна використовувати для виявлення проблем і визначення рішень для створення більш ефективної насосної системи.

Стиснене повітря загалом є одним із найбільш неефективних видів використання енергії в фармацевтичній промисловості через низьку ефективність системи. Економія енергії за рахунок удосконалення системи стисненого повітря може становити від 20% до 50% загального споживання електроенергії системою. Крім того, багато заходів, які застосовуються для двигунів, також можна використовувати до компресорів, щоб зменшити їх споживання енергії. Керування навантаженням та переналаштування для більш ефективної роботи без придбання додаткових компресорів, належне технічне обслуговування фільтрів, двигунів, вентиляторів і водяних насосів, мінімізація витоків стисненого повітря і перепадів тиску призводить до значного збереження енергії.

Охолодження є важливими процесами у фармацевтичній промисловості, які використовуються в багатьох цілях. Енергозбереження в холодильних системах стосується компонентів, процесів і систем. Заходи з енергоефективності включають зниження тиску в конденсаторі, правильний вибір і послідовність компресорів, оптимізацію ізоляції та усунення несуттєвих теплових навантажень всередині установки. Запровадження автоматичного моніторингу холодильних систем може допомогти енергоменеджерам та інженерам об'єктів відстежувати споживання енергії, діагностувати низьку продуктивність, оптимізувати продуктивність системи та визначати проблемні зони до того, як знадобиться капітальний ремонт. Контроль заправки холодоагенту, оптимізація параметрів конденсатора та випарника, контроль фільтрів лінії всмоктування, утилізація відпрацьованого тепла, зниження тиску в системі – заходи, необхідні для досягнення енергозбереження в холодильних системах.

Котли та системи розподілу пари спричиняють значні втрати енергії на багатьох фармацевтичних об'єктах і вимагають наступних заходів: покращення контролю процесу, зменшення втрат тепла, покращення рекуперації тепла, зниження обсягів димових газів, зменшення надлишків повітря, покращення ізоляції котла та розподільної системи,

рекуперації тепла димових газів, удосконалення конденсаторівідвідника, належного обслуговування.

Витрати на енергію, яка використовується для освітлення у фармацевтичній промисловості, зазвичай незначні [13]. Тим не менш, можна знайти можливості для зниження обсягів її використання: замінити всі світильники на енергоефективні лампи або люмінесцентні високої інтенсивності, встановити датчики руху й програмовану систему керування освітленням. Також можна використовувати вікна подвійної висоти, щоб пропускати більше денного світла в приміщення лабораторій, заохочувати персонал вимикати світло та обладнання.

Для таких галузей, як фармацевтичне виробництво, які потребують технологічного тепла, пари та електроенергії, використання систем комбінованого виробництва тепла та електроенергії може заощадити енергію та зменшити забруднення. Когенераційні установки значно ефективніші, ніж стандартні електростанції або генератори, оскільки вони використовують відпрацьоване тепло.

Висновки. Витрати на виробництво та реалізацію фармацевтичної продукції продовжуватимуть зростати разом із постійним зростанням вартості енергії. Для підвищення енергоефективності виробництва лікарських засобів потрібно детально оцінювати всі стадії фармацевтичного виробництва та запроваджувати заходи, що дозволяють досягти зменшення енергоспоживання. Очікувана економія енергії та пов'язаних з енергією витрат може бути відносно невеликою, але кумулятивний ефект від заходів для всього підприємства потенційно може бути значним. Отже, для всіх заходів з енергоефективності необхідно проводити подальші дослідження економічної вигоди, з урахуванням належних виробничих практик, щоб оцінити доцільність їх впровадження. Зміна способу управління енергією в організації може підвищити ефективність процесів, якість продукції, продуктивність і досягти економії витрат до 30%. Після досягнення оптимальної енергоефективності фармацевтичним виробникам слід оцінити та розглянути можливості впровадження відновлюваних джерел енергії для подальшого зниження витрат.

References

1. Shamkishore, L., Manmadha Reddy, K., Pathy, A. (2011). Energy Conservation in Pharmaceutical Manufacturing. *Pharmaceutical Technology Sourcing and Management*, Vol. 7, Issue 11. URL: <https://www.pharmtech.com/view/energy-conservation-pharmaceutical-manufacturing>.
2. Energy consumption worldwide from 2000 to 2019, with a forecast until 2050, by energy source. <https://www.statista.com>. URL: <https://www.statista.com/statistics/222066/projected-global-energy-consumption-by-source/>
3. Primary energy consumption worldwide in 2022, by country. <https://www.statista.com>. URL: <https://www.statista.com/statistics/263455/primary-energy-consumption-of-selected-countries/>
4. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2022). World Energy Outlook 2022. November 2022. <https://www.iea.org>. URL: <https://www.iea.org/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>.

Література

1. Shamkishore L., Manmadha Reddy K., Pathy A. Energy Conservation in Pharmaceutical Manufacturing. *Pharmaceutical Technology Sourcing and Management*. 2011. Vol. 7. Issue 11. URL: <https://www.pharmtech.com/view/energy-conservation-pharmaceutical-manufacturing>.
2. Energy consumption worldwide from 2000 to 2019, with a forecast until 2050, by energy source. <https://www.statista.com>. URL: <https://www.statista.com/statistics/222066/projected-global-energy-consumption-by-source/>
3. Primary energy consumption worldwide in 2022, by country. <https://www.statista.com>. URL: <https://www.statista.com/statistics/263455/primary-energy-consumption-of-selected-countries/>
4. World Energy Outlook 2022. November 2022. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, <https://www.iea.org>. URL: <https://www.iea.org/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>.

5. IPSEN (2021). Ipsen Pledges Ambitious Action on Climate Change, October 2021. URL: <https://ansm.sante.fr/page/comite-dinterface-avec-les-representants-des-industries-du-medicament>.
6. Serrano Basterra, M. (2019). How Innovative Power Monitoring Is Driving Pharmaceutical Manufacturing Efficiencies. URL: <https://blog.se.com/industry/food-and-beverage/2019/10/29/how-innovative-power-monitoring-is-driving-pharmaceutical-manufacturing-efficiencies/>
7. Leontyuk, I. I., Kuzmina, H. I., Tarasenko, H. V., Strokan, A. P., Bessarabov, V. I. (2014). Enerhozberezhennya na farmatsevtichnomu vyrobnytstvi [Energy saving in pharmaceutical production]. *Visnyk KNUTD = Bulletin of KNUTD*, No. 5 (79), P. 48–52 [in Ukrainian].
8. Ahenstvo "Interfaks-Ukrayina" [Interfax-Ukraine News Agency]. URL: <https://interfax.com.ua/news/pharmacy/888686.html>.
9. WORLD ECONOMIC FORUM (2023). The "No-Excuse" Framework to Accelerate the Path to Net-Zero Manufacturing and Value Chains January 2023. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Industry_Net_Zero_Accelerator_2023.pdf.
10. Dzhezdzhula, V. V. (2014). Enerhozberezhennya promyslovykh pidpryyemstv: metodolohiya formuvannya, mekhanizm upravlinnya: monohrafiya [Energy saving of industrial enterprises: formation methodology, management mechanism: monograph]. Vinnytsya: VNTU. 346 p. [in Ukrainian].
11. Dzhezdzhula, V. V. (2014). Napryamky orhanizatsiynoho ta malovytratnoho enerhozberezhennya mashynobudivnykh pidpryyemstv [Directions of organizational and low-cost energy saving of machine-building enterprises]. *Problemy ekonomiky = Problems of the economy*, No. 1, P. 230–235 [in Ukrainian].
12. Galitsky, Ch., Chang, S., Worrell, E., Masane, E. (2008). Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry. California: University of California. 100 p.
13. Causeway Energies (2023). Energy Use in the Pharmaceutical Industry: Attaining Net Zero. URL: <https://causewaygt.com/2023/08/energy-use-in-the-pharmaceutical-industry-attaining-net-zero/>
5. Ipsen Pledges Ambitious Action on Climate Change. IPSEN, October 2021. URL: <https://ansm.sante.fr/page/comite-dinterface-avec-les-representants-des-industries-du-medicament>.
6. Serrano Basterra M. How Innovative Power Monitoring Is Driving Pharmaceutical Manufacturing Efficiencies. 2019. URL: <https://blog.se.com/industry/food-and-beverage/2019/10/29/how-innovative-power-monitoring-is-driving-pharmaceutical-manufacturing-efficiencies/>
7. Леонтюк І. І., Кузьміна Г. І., Тарасенко Г. В., Строкань А. П., Бессарабов В. І. Энергозбереження на фармацевтичному виробництві. *Вісник КНУТД*. 2014. № 5 (79). С. 48–52.
8. Агентство "Інтерфакс-Україна". URL: <https://interfax.com.ua/news/pharmacy/888686.html>.
9. The "No-Excuse" Framework to Accelerate the Path to Net-Zero Manufacturing and Value Chains. WORLD ECONOMIC FORUM, January 2023. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Industry_Net_Zero_Accelerator_2023.pdf.
10. Джеджула В. В. Энергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 346 с.
11. Джеджула В. В. Напрямки організаційного та маловитратного енергозбереження машинобудівних підприємств. *Проблеми економіки*. 2014. № 1. С. 230–235.
12. Galitsky Ch., Chang S., Worrell E., Masane E. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry. California: University of California, 2008. 100 p.
13. Energy Use in the Pharmaceutical Industry: Attaining Net Zero. *Causeway Energies*. 2023. URL: <https://causewaygt.com/2023/08/energy-use-in-the-pharmaceutical-industry-attaining-net-zero/>

TARASENKO HANNA

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0995-7322>
Scopus Author ID: 58032095000
ResearcherID: JHT-0528-2023
E-mail: tarasenko.gv@knuutd.com.ua

SALIY OLENA

Candidate of Pharmacy, Associate Professor,
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7103-2083>
Scopus Author ID: 57219560195
ResearchGateID: AAC-5721-2019
E-mail: saliy.oo@knuutd.edu.ua

ZMIEVSKA INESA

Master's student
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: zmievskaainesa@gmail.com

POPOVA MARIIA

Postgraduate student,
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2579-0331>
E-mail: riia@ukr.net

TARASENKO H. V., ZMIEVSKA I. S., SALIY O. O., POPOVA M. E.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES
OF PRODUCTION OF MEDICINAL PRODUCTS**

Purpose. Conducting an analysis of modern pharmaceutical production technologies and substantiating practical measures regarding the use of energy-efficient technologies in order to optimize and minimize energy consumption while preserving and guaranteeing the quality of finished products.

Methodology. Analytical review of scientific, scientific-practical and statistical-analytical literature for the purpose of systematization and optimization of data that can be used for energy saving at enterprises of the pharmaceutical industry.

Findings. The structure of energy consumption of the pharmaceutical industry was studied and ways of optimizing the energy efficiency of drug production were analyzed, which can be implemented both at the levels of individual stages, operations, processes, systems, and for the enterprise as a whole. A systematic analysis of production technologies and technological processes was carried out, ways of their optimization were proposed to minimize energy consumption and increase energy efficiency while maintaining the quality of finished products and increasing their competitiveness on the market.

Originality. The theoretical aspects of energy-saving measures of pharmaceutical production are substantiated, ways of optimization and improvement of their energy efficiency, intensification of production processes, optimization of design and control of production processes and technological systems to achieve the cumulative effect of saving energy resources are proposed.

Practical value. Determining measures to increase the energy efficiency of pharmaceutical production will allow to reduce energy consumption during production, to introduce measures for constant monitoring and control of consumed energy in order to ensure uninterrupted production processes and avoid reduction in the volume of production of medicines due to interruptions in energy supply.

Keywords: energy-saving technologies; energy management; medicinal products; pharmaceutical production.