

УДК 621.65

*О.Г.ГУСАК*, канд.техн.наук, доц., СДУ, Суми  
*О.І.КОТЕНКО*, канд.техн.наук, доц., СДУ, Суми  
*Л.М.НИКОЛАЄНКО*, асп., СДУ, Суми

## **ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ НАСОСНИХ УСТАНОВОК ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСІВ**

Ця стаття присвячена аналізу вартості життєвого циклу (LCC) і концепції використання його в особливо складних умовах експлуатації насосів.

**Ключові слова:** життєвий цикл, насос, експлуатація, конструкція.

Эта статья посвящена анализу стоимости жизненного цикла (LCC) и концепции использования его в особенно сложных условиях эксплуатации насосов.

**Ключевые слова:** жизненный цикл, насос, эксплуатация, конструкция.

This article is devoted to analysis of life cycle cost (LCC) and the concept of its use in especially complex conditions of operation of the pumps.

**Keywords:** life cycle, pump, exploitation, construction.

### **1. Вступ**

При підборі різного обладнання в теперішній час широко використовується метод оцінки і контролю вартості устаткування (LCC analysis – life cycle cost analysis), який враховує всі витрати, які неминуче виникають в процесі його експлуатації [1]. Тому перед здійсненням покупки спеціалістам рекомендується проводити аналіз вартості життєвого циклу насоса. Це можна зробити як до придбання нового устаткування, так і для оптимізації вже встановленого. Даний аналіз зводиться до калькуляції основних статей витрат (табл. 1.), що виникають в процесі експлуатації.

Таблиця 1. Основні статті витрат

Позначення	Описання	
$C_{інв}$	Інвестиційні витрати	Вартість життєвого циклу обладнання полягає у визначенні суми всіх статей витрат
$C_m$	Витрати на монтаж	
$C_{ел}$	Витрати на електроенергію	
$C_{експ}$	Експлуатаційні витрати	$LCC = C_{інв} + C_m + C_{ел} + C_{експ} + C_{тех} + C_{ек} + C_d$
$C_{тех}$	Витрати на технічне обслуговування	
$C$	Витрати, які пов'язані з ремонтом	Аналіз ґрунтується на розрахунковій тривалості терміну експлуатації насоса.
$C_{ек}$	Екологічні витрати	
$C_d$	Витрати на демонтаж	

В першу чергу виділяють і аналізують актуальні і неминучі статті витрат кожного запропонованого варіанту насоса. Потім визначаються статичні і динамічні статті витрат, яким надається особлива увага, оскільки вони мають ключове значення для ефективної і безперебійної роботи насоса. Основна мета аналізу полягає в тому, щоб придбати надійне і енергоефективне устаткування, яке забезпечить мінімальні витрати в процесі його терміну експлуатації. На рис. 1 наведена типова структура вартості життєвого циклу насосної установки середнього розміру, за допомогою якої можливо проаналізувати роботу насоса в технологічних лініях промислових підприємств [2].

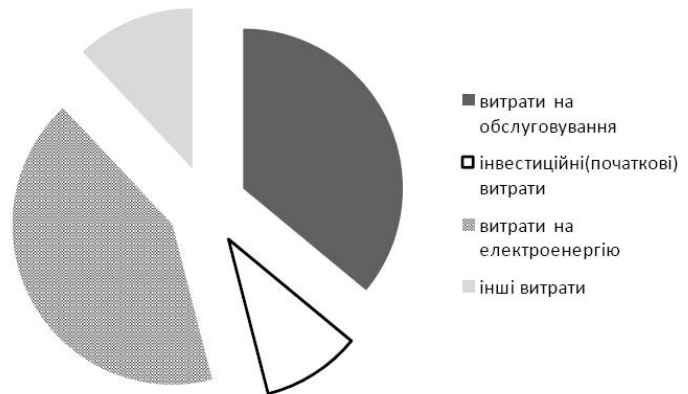


Рис. 1. Типова структура вартості життєвого циклу насосної установки середнього розміру

## 2. Основна частина

Часто для проведення техніко – економічного обґрунтування або для оцінки терміну окупності використовують лише такий показник, як початкова вартість устаткування (іноді враховують і вартість монтажу). При цьому абсолютно не береться до уваги, що ця ціна складає лише частину від загальної суми витрат, які несе споживач від придбання до утилізації насосного устаткування, а це і вартість споживаної електроенергії, і витрати на технічне обслуговування і ремонт і т. д.

Зараз саме зниження витрат життєвого циклу і визначає основні тенденції розвитку на насосному ринку.

Зниження витрат життєвого циклу проводиться в двох напрямках:

Перший напрямок – це зниження споживання енергоресурсів:

- підвищення к. к. д. як самих насосів, так і насосних установок;
- виготовлення насосів безпосередньо від споживача;
- вживання більш ефективних електродвигунів;
- широке вживання пристроїв оптимізації роботи насосів, наприклад за допомогою зміни частоти обертання вала приводу.

Другий напрямок – зниження витрат на ремонт і експлуатацію:

- мінімізація впливу людського фактору на роботу устаткування;
- розповсюдження використання приладів контролю і регулювання насосів в процесі експлуатації в поєднанні з системами ранньої діагностики і попередження несправностей;
- мінімізація експлуатаційних і ресурсних витрат на використання устаткуванням протягом всього життєвого циклу;
- мінімізація часу і кваліфікації персоналу при ремонті насосів ( як приклад, використання блоково – модульної конструкції).

Кількість енергії і матеріалів, що використовуються насосною установкою, залежать від типу насоса, виду установки і способу експлуатації. Ці чинники взаємопов'язані. Більш того, вони повинні бути ретельно підібрані, щоб

забезпечити протягом своєї роботи найменше споживання електроенергії, найменші експлуатаційні витрати і т.д. Початкова ціна придбання насоса є малою частиною вартості життєвого циклу для широкого вживання насосів.

При експлуатації насосів для перекачування чистих рідин в аналізі вартості життєвого циклу основна увага надається першому напрямку зниження витрат. Проте, в складних умовах витрати на усунення надмірного зносу проточної частини, обслуговування, запчастини, незаплановані простої, забезпечення необхідної подачі, заміну ущільнень і зменшення пошкоджень продукції в насосі складатимуть істотну частку в вартості життєвого циклу, переважаючи над інвестиційними і поточними експлуатаційними витратами.

Прикладами складних випадків при експлуатації насосів є перекачування рідин з високим вмістом абразивних речовин і волокнистих включень, рідин в'язкістю більше 50сПз, або з високим вмістом повітря або газу, рідин чутливих до зрізу і рідин, що містять крихкі речовини. Саме до цих умов експлуатації насосів слід застосовувати другий напрямок аналізу вартості життєвого циклу, але при цьому не виключати можливості зниження енергоспоживання.

Основні проблеми, які виникають у важких умовах функціонування насосів, і упровадження заходів, що приводять до зменшення витрат, пов'язаних з експлуатацією, наведені в табл. 2 і 3.

В табл. 2 наведені умови роботи і наслідки, що виникають при роботі традиційних насосних установок, при транспортуванні складних для перекачування рідин.

Таблиця 2. умови роботи і наслідки, що виникають при роботі традиційних насосних установок, при транспортуванні складних для перекачування рідин.

Перелік перекачуваних рідин	Умови роботи насосів і наслідки їх експлуатації
Високоабразивні рідини	Передчасний знос проточної частини відцентрових насосів в результаті ударів абразивними включеннями
Суспензії з високим вмістом твердих речовин	Передчасний знос проточної частини, який залежить від природи твердої речовини. Втрата подачі насоса приводить до простою технологічного обладнання
В'язкі рідини (понад 50сПз)	В'язкісне тертя приводить до різкого зростання споживання енергоресурсів. Втрата подачі насоса приводить до простою технологічного обладнання
Рідини з високим вмістом газу або повітря	Кавітація і зрив параметрів відцентрових насосів приводить до зростання експлуатаційних витрат та простоїв технологічного обладнання
Рідини з крупними або волокнистими частинками	Закупорювання проточної частини приводить до зростання експлуатаційних витрат та простою відцентрових насосів
Рідини, які чутливі до зрізу або містять крихкі речовини	Руйнування продукції в результаті ударів об елементи проточної частини відцентрових насосів

Що стосується етапів аналізу вартості життєвого циклу, то при порівнянні

двох або більше насосних установок, першим є ідентифікація основних характеристик перекачуваного середовища.

Для цього необхідно визначити: складові перекачуваної рідини; наявність в рідині абразивних включень; в'язкість рідини; вміст твердих речовин та їх концентрацію; наявність в рідині повітря (газу) та його об'ємну концентрацію; присутність у складі рідини крупних частинок або волокнистих включень; чутливість рідини до зрізу або наявність крихких речовин у складі рідини (ризик пошкодження продукції); можливість зупинки насоса і її вплив на кількісний показник продукції, що виробляється.

В табл. 3 наведені основні проблеми і наслідки роботи у разі використання насосів при транспортуванні складних для перекачування рідин.

Таблиця 3. Проблеми і наслідки роботи у разі використання насосів при транспортуванні складних для перекачування рідин

Перелік основних проблем	Наслідки роботи насосів
Пульсації	Укорочений термін служби ущільнень. Вібрація, погіршення роботи трубопроводів. Можливість дефектів продукції.
Високе радіальне та осьове зусилля.	Скорочення терміну служби ущільнень. Втомленість металу вала і пошкодження підшипників.
Неможливість роботи "насухо"	Обмежена гнучкість виробничого процесу.
Високі вимоги до допустимого кавітаційного запасу	Пошкодження насоса внаслідок кавітації.

Як же оцінити реальну економічну ефективність використання насосної установки?

Для цього необхідно визначити: витрати на запасні частини внаслідок зносу; робочий час на ремонт та усунення закупорювання проточної частини насоса; витрати, які пов'язані із зупинкою (недовипущеною продукцією); витрати на заміну ущільнень через пульсації або високі невірноважені радіальні і осьові сили; втрати, які пов'язані з деструкцією продукту у разі рідин з крихкими і чутливими до зрізу речовинами.

З відповідей на ці питання і складається оцінка існуючої насосної установки і розрахунок витрат, пов'язаних з кожним показником.

Витрати, які пов'язані з перекачуванням рідин з крихкими і чутливими до зрізу складовими, можуть бути найбільшою і важливою статтею в аналізі вартості життєвого циклу, проте саме цей чинник дуже часто не беруть до уваги.

Більшість насосних установок працює з використанням відцентрових насосів, принцип роботи яких полягає в силовій взаємодії робочого колеса з протікаючою у міжлопатевому каналі рідиною. В цьому випадку виникає постійна взаємодія перекачуваного середовища та робочого колеса, тобто руйнування продукту являється неминучим. При перекачуванні суспензії, до складу якої входять кристали цукру, удари можуть пошкодити до 40% продукту і понизити якість кінцевої продукції.

Таким чином, більш економічне на момент закупівлі насосне обладнання в процесі експлуатації виявиться неефективним і менш надійним аналога.

В умовах перекачування неочищених побутових і промислових стоків, напівфабрикатів і продуктів у вигляді в'язких рідин, рідин з твердими частинками і волокнистими включеннями, а також різних суспензій надійно працюють вільновихрові насоси (ВВН). Вказані насоси знаходять використання на підприємствах: комунального господарства, харчової, хімічної, целюлозно-паперової, цукрової галузі і аграрно-промислового комплексу [3].

За принципом дії ВВН відносяться до гідромашин вихрового принципу дії, в яких рідке середовище переміщається переважно поза робочим колесом від центру до периферії. Через робоче колесо проходить тільки 15 – 20% перекачуваної рідини, тому колесо має підвищений ресурс в порівнянні з колесом відцентрового типу. На відміну від традиційних відцентрових насосів у ВВН тільки частина рідини проходить в міжлопатевих каналах, а друга частина проходить через вільну камеру без взаємодії з лопатями. Це захищає як перекачуваний продукт від надмірної взаємодії з робочим колесом, так і робоче колесо від дії продукту. Завдяки цьому запобігається пошкодження складових продукту і зношення проточної частини насоса. А широкі прохідні перерізи вільної камери дозволяють перекачувати рідини з великими включеннями.

Конструкція насоса проста (рис. 2), має мінімум деталей. В насосах ВВН робочим органом є робоче колесо з радіальними або нахиленими лопатями [3, 4].

Робоче колесо обертається в циліндричній розточці задньої стінки корпусу. Рідина із всмоктувального патрубка поступає у вільну камеру насоса, а потім входить в колесо в області втулки і під дією відцентрової сили відкидається до периферії.

Частина рідини, що виходить з робочого колеса, прямує частково у відвід, а інша частина при втраті енергії повертається до входу в робоче колесо. У вільній камері відбувається обмін кількістю руху між потоками рідини, що виходить із робочого колеса, і рідини, що поступає у вільну камеру з всмоктувального трубопроводу.

Концепція розвитку насосного устаткування передбачає зменшення кількості типорозмірів насосів. Блоково-модульна конструкція насосів передбачає широку уніфікацію деталей, що дозволяє зменшити номенклатуру запасних частин до насосів, забезпечити вигідність використання та зручність обслуговування.

Корпусно-опорна конструкція насоса відповідно до міжнародного стандарту ISO 2858 [5] дозволяє проводити ревізію без від'єднання корпусу від трубопроводів.

На відміну від відцентрових насосів ВВН використовуються для перекачування різних гідросумішей, основні з яких наведені нижче:

1. В'язкі рідини. Можлива робота ВВН при динамічній в'язкості рідини більше 50 сПз.

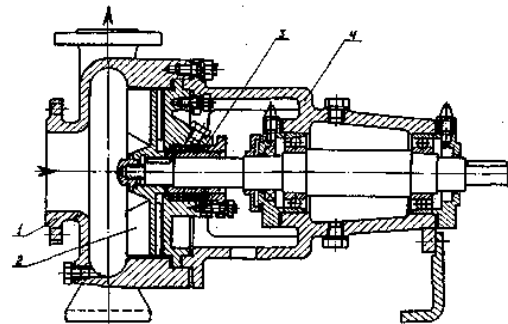


Рис. 2. Конструкція насоса ВВН: 1 – корпус; 2 – робоче колесо; 3 – ущільнення кінцеве; 4 – корпус підшипників

2. Суспензії з високим вмістом твердих включень. Насос забезпечує перекачування суспензій, що містять до 30% твердих частинок, при цьому не закупорюється і не зупиняється.

3. Рідини з абразивними включеннями. Насос перекачує рідин з сильноабразивними частинками з мінімальним зносом проточної частини. За даних умов експлуатаційні характеристики ВВН не змінюються.

4. Рідини з великим вмістом повітря (газу). ВВН забезпечують високу надійність роботи при перекачуванні газорідних сумішей з вмістом повітря (газу) до 50%.

5. Рідини, що містять крупні тверді частинки або волокнисті включення. Наявність вільної камери дозволяє перекачувати крупними включеннями без закупорювання проточної частини. Волокнисті включення, що містяться в перекачуваних суспензіях, не намотуються на лопаті і не закупорюють прохідні канали робочого колеса, як це спостерігається в роботі відцентрових насосів.

6. Легкопошкоджувані рідини або рідини з чутливими до дії сил зрізу речовинами. В результаті часткового контакту з робочим колесом можлива передача енергії кристалічним складовим з незначним їх руйнуванням, що підтверджується результатами роботи ВВН в багатьох галузях промисловості.

Конструктивні особливості і відмінність робочого процесу порівняно з відцентровим насосом надають наступні суттєві переваги ВВН [6]:

1. Відсутність строгих допускових обмежень. Наявність широких прохідних каналів дозволяє перекачувати в'язкі рідини і рідини з крупними включеннями без закупорювання проточної частини. ВВН може забезпечувати перекачування рідини з включеннями розміром 0,8 ширини вільної камери [3]. У ВВН відсутні передні ущільнення, що усуває проблему з їх зносом, регулюванням і промивкою.

2. Здатність працювати на закриту засувку. У зв'язку з наявністю вільної камери і відсутністю перетікання рідини через ущільнення робота ВВН при закритій засувці на напірному трубопроводі можлива протягом більшого проміжку часу, ніж для відцентрового насоса.

3. Надійна робота при зниженому тиску на вході. Можливість роботи без кавітації з великими висотами всмоктування дозволяє підвищити концентрацію перекачуваних середовищ, збільшити їх газовміст, а більш пізній прояв наслідків кавітації дозволяє зменшити глибину закладення фундаменту насосних установок. Допустимий кавітаційний запас для ВВН менше, ніж для стандартного відцентрового насоса, що працює в тих же експлуатаційних умовах [4].

4. Наявність незначних радіальних сил. Конструктивне виконання проточної частини і розташування робочого колеса в циліндричній розточці корпусу практично виключають радіальні сили, що забезпечує більш тривалий термін служби сальника, підшипників і валу.

5. Надзвичайно багатофункціональна конструкція. Конструкція ВВН дозволяє надійно і ефективно перекачувати велику різноманітність рідин з включеннями без поломок при експлуатації.

6. Низькі експлуатаційні витрати протягом терміну служби. В порівнянні з іншими конструкціями насосів для ВВН підтверджено скорочення потреби в

обслуговуванні, ремонті, а насосні установки при використанні ВВН працюють практично без простою в складних умовах перекачування різних рідин.

7. Перекачування рідин при незначному руйнуванні структури її складових. Принцип передачі енергії у ВВН передбачає незначну пульсацію, а можливість вільного протікання рідини через вільну камеру забезпечує зменшення деструкції (руйнування структури) технологічної рідини, зменшення пошкоджень у чутливих до дії сил зрізу речовин. Наявність незначного ударного контакту між перекачуваним середовищем і робочим колесом являється головною перевагою ВВН від існуючих конструкцій відцентрових насосів.

Порівняння витрат при виборі насосів проводиться при аналізі сукупних витрат (включаючи витрати на придбання і подальше обслуговування). Вибір варіанту насоса при цьому здійснюється з позиції мінімізації їх загальної величини за період служби насоса. При транспортуванні складних для перекачування рідин аналіз вартості життєвого циклу насоса рекомендується проводити по методиці, в якій основна роль належить витратам та експлуатацію та ремонт.

### **3. Висновки**

Таким чином для зменшення вартості життєвого циклу насосних установок при перекачуванні рідин з високим вмістом абразивних включень, суспензій з великим вмістом твердих речовин і волокнистих включень, рідин з в'язкістю більше 50 сПз, рідин з високим вмістом повітря або газу, рідин чутливих до зрізу і рідин, що містять крихкі речовини перевага використання вільновихрових насосів незаперечна.

**Список літератури:** 1. Оценка стоимости жизненного цикла оборудования. Экономическая эффективность в долгосрочной перспективе [Текст] // Энергоэффективное оборудование. – 2007. – №7. – С. 12 – 13. 2. Анализ стоимости жизненного цикла насосного оборудования [Текст] // Энергоэффективное оборудование. – 2008. - №6. – С. 16 – 17. 3. *Поступила в редколлегию 23.11.2011* Свободновихревые насосы [Текст]: учеб. пособие / А.И. Ковалев, В.Ф. Герман. – К. : УМК ВО, 1990. – 60 с. 4. *Котенко А.И.* Оценка кавитационных качеств свободновихревых насосов [Текст] / А.И. Котенко, В.Ф. Герман // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки – 2008. – №4. – С. 93 – 105. 5. ISO 2858. Насосы центробежные с осевым входом (номинальное давление 16 бар). Обозначение, номинальные параметры [Текст]. – Введ. 01.02.1975. – М: Изд – во стандартов, 1975. – 8 с. 6. Зменшення вартості життєвого циклу насосних установок при експлуатації вільно вихрових насосів в умовах виготовлення цукру [Текст] : матеріали міжнародної науково технічної конференції цукровиків України «Бурякоцукрова галузь в умовах національного та світового ринків». – К.: «Цукор України», 2011. – 172 с.

*Поступила в редколлегию 23.11.2011*

**УДК 658.26:621.311**

**Л.Г.УВАРОВА**, маг., ЗДІА, Запоріжжя

**С.А. ЛЕВЧЕНКО**, канд.техн.наук, ЗДІА, Запоріжжя

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА**

В статті, на основі методу формових відображень, розглянуто спосіб підвищення ефективності системи електропостачання підприємства на довгострокову перспективу на прикладі підприємства ПрАТ «Запоріжполімертара».