

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАСОСНЫХ СИСТЕМ

Насосные системы широко распространены в мире. Эти системы приводят в движение технологические процессы многих отраслей промышленности и коммунального хозяйства. Около 22—31 % мировой электроэнергии тратится на насосные системы [9, 54]. От 20 до 50 % этой энергии идет на конкретные операции промышленных предприятий.

Параметры насосной системы: мощность, используемые материалы, среда для перекачки, конструкция насосов, тип установки, способ управления системой — взаимосвязаны и должны соответствовать друг другу на протяжении всего срока службы. При этом необходимо обеспечивать минимальное потребление энергии и сократить другие затраты, включая техобслуживание. Закупочная стоимость является лишь небольшой частью суммы всех затрат по агрегату (рис. 9.1).

Потребляемая насосными системами электроэнергия может быть снижена на 30—50 % за счет смены оборудования или системы управления.

Экономический анализ насосных систем возможен при использовании следующих методов:

чистые сбережения — Net Savings;

коэффициент сбережения (инвестиции) — Saving-to-Investment Ratio SIR;

регулируемая внутренняя норма прибыли — Adjusted Internal Rate of Return (AIRR);

простой и дисконтный период окупаемости — Simple Payback (SPB), Discounted Payback (DPB).

Зачастую простой период окупаемости предлагается нам как критерий выбора проектных решений. Метод оценивает, какое количество лет занимает покрытие первоначальных инвестиционных затрат (техника «fish bait» — приманка для рыб) [54], и используется только для грубого сравнительного анализа проектных решений.

В России выбор проектных решений основан на методе сравнительной экономической эффективности по показателю приведенных затрат [55], который по каждому варианту представляет собой сумму слагаемых:

$$П = С + E_H K \quad (9.1)$$

$$\text{или } П = T_H C + K, \quad (9.2)$$

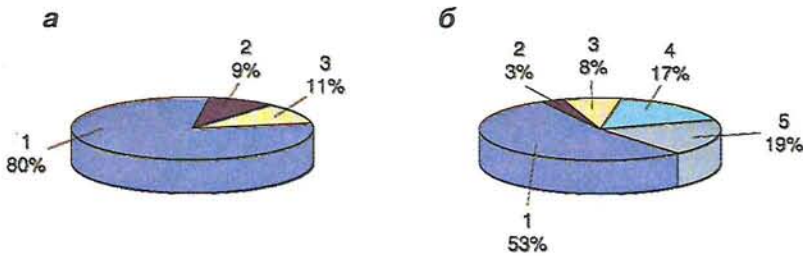


Рис. 9.1. Основные затраты при эксплуатации насосных станций (стоимость оборудования составляет незначительную долю): *а* – водоснабжение; *б* – водоотведение; 1 – электроэнергия; 2 – стоимость оборудования; 3 – обслуживание; 4 – электроэнергия при сокращении производительности; 5 – ремонт, прочистка

где Π – приведенные затраты; C – эксплуатационные затраты; E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K – капитальные вложения в строительство; T_H – нормативный срок окупаемости капитальных вложений.

Ресурс насосных систем нередко составляет от 15 до 20 лет. Реальный срок службы насосных систем трудно спрогнозировать, так как он различен для собственно насосной техники, энергоприводов, водоводов и напорных сетей, запорно-регулирующей арматуры и т.д. При этом слагаемые затраты с течением времени различаются: иногда требуются серьезные инвестиции, а иногда важная регулярная эксплуатационная составляющая.

С практической точки зрения существенно важно определить текущее значение LCC за период 4–8, иногда 10 лет. И это не противоречит российским нормам [58].

Экономический анализ насосных систем проведем на базе показателя – затраты жизненного цикла LCC (Life cycle cost). За рубежом анализ по затратам жизненного цикла LCC является основным инструментом, помогающим сократить убытки и увеличить энергоэффективность большинства типов систем, включая насосные. Термин LCC понимается в России [56] как издержки (затраты) в течение жизненного цикла. Словосочетание «жизненный цикл» было бы удобнее заменить на «срок службы». Однако вопрос перевода остается открытым, поскольку русский термин пока еще не утвердился.

Метод расчета LCC является результатом [57] совместных исследований, проведенных институтом Гидравлики (Hydraulic Institute, USA), институтом «Еuroprint» и Управлением промышленных технологий при Министерстве энергетики США.

LCC исчисляются за весь срок службы системы на покупку оборудования, монтаж, пуско-наладку, эксплуатацию, техобслуживание, вплоть до затрат на утилизацию данного оборудования и его вывоз [57]. Анализ LCC позволяет выявить наиболее выгодное решение в рамках доступных возможностей.

Проанализируем формулу (9.2): T_H – величина обратная E_H , а E_H по различным источникам принимается от 0,12 до 0,17 [2, 5]. Таким образом, T_H распределяет эксплуатационные затраты C_i на срок 6–8 лет.

При этом постановление Правительства РФ [59] относит насосы артезианские и погружные к третьей амортизационной группе со сроком полезного

использования от 3 до 5 лет включительно, а насосы центробежные, поршневые и роторные — к четвертой амортизационной группе от 5 лет до 7 лет включительно.

Затраты жизненного цикла LCC по каждому из сравниваемых вариантов выражаются уравнением:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d \quad (9.3)$$

При этом слагаемые обозначают следующие затраты:

C_{ic} — начальная или капитальная стоимость, цена (насоса, системы, труб, дополнительные услуги). Начальные капиталовложения включают: цену покупаемого оборудования как базовую; разработку конструкторской и технологической документации; процесс составления коммерческого предложения; испытания и инспекторский надзор; инвентаризацию запчастей; обучение обслуживающего персонала; вспомогательное оборудование для охлаждения и гидравлического уплотнения;

C_{in} — стоимость монтажа и пуско-наладки (включая транспортировку). Затраты на монтаж и пуско-наладку: разработка фундамента конструкции, подготовка, бетонирование и армирование и т.д.; установка оборудования на фундамент; транспортировка оборудования и материалов; подключение электрооборудования и кабеля; подключение вспомогательных, дополнительных систем; замер характеристик при запуске. Монтаж может осуществляться поставщиком оборудования, подрядчиком или обслуживающим персоналом;

C_e — затраты на электроэнергию, они явно превосходят все другие составляющие LCC, особенно если насосы работают более 2000 часов в год. Расчет прост, если потребляемая мощность постоянна во времени, если нет — тогда необходимо установить зависимость мощности от времени. Зависимость потребляемой мощности P , кВт, выражается формулой:

$$P = \rho QH / 102 \eta_n \eta_d \eta_{тр} \quad (9.4)$$

где Q — подача, м³/сек; ρ — удельный вес; η_n — КПД насоса, η_d — КПД электродвигателя, $\eta_{тр}$ — КПД трансмиссии или редуктора.

Выбор насоса и электродвигателя с определенным КПД влияет на потребление электроэнергии. Система управления, отслеживающая изменение мощности во времени, может сама определять нагрузку при изменении скорости вращения рабочих колес насосов, оптимально потребляя электроэнергию. Причем регулирование энергопотребления по принципу пуск—останов рабочих агрегатов не всегда уступает предыдущему методу, поскольку КПД в совместной работе насосов на водоводы превалируют. Использование регулирования с помощью дроссельного клапана или байпаса снизит производительность и увеличит затраты на электроэнергию.

Энергетический КПД или количество потребляемой энергии требуется выстраивать в тех же координатах времени (как впрочем, и остальные элементы LCC), в результате чего получаем энергопотребление в кВт·ч. Тарифы за каждый кВт·ч потребленной электроэнергии, как известно, различны по регионам;

C_o — заработная плата для обслуживающего персонала зависит от объема работ и степени автоматизации насосной системы. К примеру, насос, перекачивающий опасные вещества, потребует ежедневной проверки на утечки. С

другой стороны, полностью автоматизированная система может потребовать очень ограниченного внимания операторов;

C_m — затраты на ремонт и сервисное обслуживание, зависят от рекомендаций производителя по их частоте и объему, плюс затраты на запасные части, расходные материалы. Капитальный ремонт и полное сервисное обслуживание отличаются возможностью или невозможностью проведения регламентных работ непосредственно на месте установки оборудования. Количество регламентных работ определяет суммарные затраты на плановое техобслуживание. Предполагаемые элементы учета — уплотнения, подшипники, износ рабочего колеса, клапана, муфты, детали двигателя;

C_s — затраты по причине простоя и/или потери производительности, являются очень важным элементом при подсчете суммарного LCC и могут конкурировать с затратами на электроэнергию и затратами на замену частей. Для снижения тяжести таких затрат устанавливают резервное оборудование, в этом случае внеплановое техобслуживание будет включать только затраты на ремонт.

C_{env} — затраты на борьбу с загрязнением окружающей среды, включая утилизацию деталей и загрязнений от выбросов, в основном зависят от природы перекачиваемой среды. Включают штрафы за ущерб от прорывов трубопроводов и пожаров по причине прорывов (перекачка огнеопасных веществ). Подлежат утилизации: отработанные смазки, охлаждающие жидкости, отслужившие запчасти и детали;

C_d — затраты на утилизацию, включая демонтаж основного оборудования и вывоз дополнительного оборудования, обеспечивают восстановление рабочей площадки. При дорогой утилизации в расчете LCC большое внимание уделяется ресурсу оборудования.

Правильно выбранная конструкция насосной системы является важным элементом при минимизации показателя LCC. Лучше всего составить таблицу и внести в нее по возможности все величины. Там где нет величины затрат, следует добавить комментарий. Пользователь сам должен решить, какие именно затраты учитывать.

При анализе LCC также обсуждаются и финансовые факторы, включающие: действующие тарифы на электроэнергию; ожидаемое увеличение тарифов (инфляция) на электроэнергию и ремонт за время работы насосной системы; уровень скидки; процентную ставку.

Главной целью метода является прямая выгода. Поэтому совершенно очевидно, что уровень ежегодной инфляции c требуется компенсировать процентной ставкой i , выраженной в долях единицы:

$$C_n = C_p [1 + (i - c)]n, \quad (9.5)$$

где n — расчетный период, годы; C_n и C_p — текущие и предстоящие через n лет затраты; $(i - c)$ — реальная доля процентной ставки, доли ед.

Показатель LCC вводится для того, чтобы: приобретать насосы и системы исходя из позиционного анализа затрат; оптимизировать суммарные затраты, осознанно регулируя соотношение между капитальными (закупочными) и эксплуатационными затратами; научиться регулярно оценивать все исходные КПД как элемент затрат; понять, что качественное оборудование требует ми-

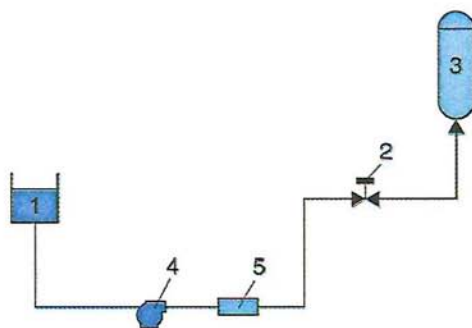


Рис. 9.2. Эскиз насосной системы с периодически выходящей из строя управляемой задвижкой: 1 – резервуар; 2 – управляемая задвижка; 3 – бак под давлением 2 бар; 4 – насос; 5 – теплообменник

нимальных ремонтов; производить замену насосного оборудования исходя из потребностей системы и реальных условий, а не механически в соответствии с существующими аналогами.

◆ Пример

Рассмотрим насосную систему с управляемой задвижкой, выходящей из строя каждые 10–12 месяцев из-за эрозии при кавитации со стоимостью ремонта 4000 долл. (рис. 9.2). Система снабжена насосом, перекачивающим жидкость из резервуара в бак, находящийся под давлением. Теплообменник нагревает жидкость, а управляемая задвижка стабилизирует подачу до $80 \text{ м}^3/\text{ч}$. Задвижка обычно работает при открытии на 15–20 % со значительным кавитационным шумом из-за неправильного подбора оборудования. Проверкой было обнаружено, что насос имеет завышенные параметры – 100 вместо $80 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом местные потери напора на задвижке явно завышены.

Предлагаются к внедрению четыре варианта:

А – установить новую управляемую задвижку для обеспечения большого перепада давления;

Б – для снижения потерь напора можно подрезать рабочее колесо насоса;

В – установить частотный преобразователь для изменения скорости вращения насоса и обеспечения желаемой подачи, а управляемую задвижку убрать;

Г – можно оставить систему такой, какая она есть, с ежегодным предполагаемым ремонтом задвижки регулирования потока.

Затраты на новую управляемую задвижку, которая имеет подходящий размер, – 5000 долл. Затраты на модификацию характеристики насоса за счет обрезки рабочего колеса – 2250 долл. Насос работает при подаче $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ в течение 6000 ч в год. Затраты на электроэнергию – 0,08 долл. за 1 кВт·ч, КПД электродвигателя – 90 %.

Сравнение вариантов модификации насосной системы (рис. 9.3) приведено в табл. 9.1.

При подрезке рабочего колеса до 375 мм (вариант Б) суммарный напор насоса снижается до 42 м при подаче $80 \text{ м}^3/\text{ч}$. При таком снижении давления местные

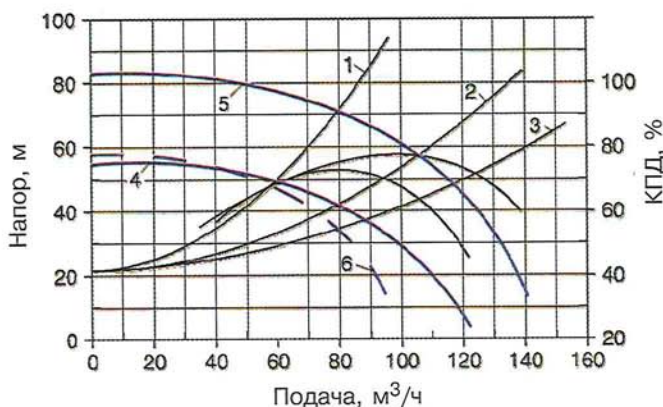


Рис. 9.3. Рабочие характеристики системы и насоса. Варианты: 1 — А и Г; 2 — Б; 3 — В; 4 — рабочее колесо (375 мм); 5 — то же, 430 мм; 6 — пониженная скорость насоса

Таблица 9.1. Сравнение вариантов модификации насосной системы (см. рис. 9.3)

Показатель	Вариант			
	А	Б	В	Г
Характеристика насоса:				
диаметр рабочего колеса, мм	430	375	430	430
напор, м	71,7	42	34,5	71,7
КПД, %	75,1	72,1	77	75,1
подача, м³/ч	80	80	80	80
потребляемая мощность, кВт	23,1	14	11,6	23,1
Затраты, долл. США:				
электроэнергия в год	11088	6720	5568	11088
новый клапан	5000	0	0	0
модифицирование рабочего колеса	0	2250	0	0
преобразователь частоты	0	0	20000	0
монтаж преобразователя частоты	0	0	1500	0
ремонт задвижки в год	0	0	0	4000

потери в управляемой задвижке будут менее 10 м, что соответствует заложенной расчетной рабочей точке клапана. Годовые затраты составят 6720 долл.

Стоимость частотного преобразователя, рассчитанного на мощность 30 кВт (вариант В), составляет 20 тыс. долл., дополнительные затраты на монтаж — 1500 долл. Техобслуживание частотного преобразователя обойдется в 500 долл./год. Предполагается, что оборудование не будет нуждаться в ремонте на протяжении всего срока службы — 8 лет.

Вариант Г (система без изменений) приведет к ежегодным затратам на ремонт управляющей задвижки, работающей в режиме кавитации, в размере 4000 долл.

Предположим, что действующий тариф на электроэнергию составляет 0,08 долл./кВт·ч; система обслуживается 6000 ч/год; компания тратит на пла-

Таблица 9.2. Эксплуатационные затраты для каждого из четырех вариантов

Показатель	Вариант			
	А	Б	В	Г
Начальное капиталовложение, долл. США	5000	2250	21500	0
Тариф на электроэнергию, долл./кВт·ч	0,08	0,08	0,08	0,08
Средняя мощность оборудования, кВт	23	14	11,6	23,1
Количество часов работы в год	6000	6000	6000	6000
Затраты, долл./год:				
электроэнергия	11088	6720	5568	11088
техобслуживание (плановое)	500	500	1000	500
ремонт каждый второй год	2500	2500	2500	2500
другие затраты за год	0	0	0	4000
простои	0	0	0	0
обслуживание окружающих площадей	0	0	0	0
вывод из эксплуатации и утилизация	0	0	0	0
Срок службы, лет	8	8	8	8
Ставка на капиталовложения, %	8	8	8	8
Инфляция, %	4	4	4	4
Величина LCC	91827	59481	74313	113930

новое обслуживание насосов 500 долл./год и 2500 долл. за каждый второй год; нет затрат на вывод из эксплуатации и утилизацию; срок службы проекта 8 лет; ожидаемые ставки на новые капиталовложения 8 %, ожидаемая инфляция 4 %. Эксплуатационные затраты для каждого из четырех вариантов приведены в табл. 9.2.

Вариант Б, с подрезкой рабочего колеса, обладает наименьшими эксплуатационными затратами и для этого случая является предпочтительным.

□ ВЫВОД

Экономический анализ насосных систем следует вести по показателю затраты жизненного цикла (LCC), представляющего собой сумму из восьми компонентов затрат. Закупочная цена в этой сумме составляет лишь около 10 %. Организаторы и заказчики конкурсов на закупку насосного оборудования обязаны требовать от конкурсантов расчеты LCC по заявляемому оборудованию.