

А.Д. Пирогов, главный инженер производства насосов для АЭС ПАО «СМНПО им. М.В. Фрунзе»

Интегрированные технологии и экономия энергоресурсов в атомном насосостроении

Подтверждена зависимость эффективности технологических процессов от постоянного рационального интегрирования в них новых решений, направленных на экономию энергоресурсов на всех этапах жизненного цикла насосов.

Ключевые слова: интегрированные технологии, насосы АЭС, самоэнергоаудит, себестоимость, технологичность, трудозатраты, экономия энергоресурсов.

Підтверджена залежність ефективності технологічних процесів від постійної раціональної інтеграції в них нових рішень, спрямованих на економію енергоресурсів на усіх етапах життєвого циклу насосів.

Ключові слова: інтегровані технології, насоси АЕС, самоенергоаудит, собівартість, технологічність, трудовитрати, економія енергоресурсів.

The dependance of technological processes efficiency upon the constant resonable integration of new solutions to save energy at all stages of the pumps life cycle is confirmed.

Keywords: integrated technologies, atomic power station pumps, self-energy audit, production costs, production effectiveness, labor costs, energy saving.

На всех этапах развития человечества и в настоящее время технологии изготовления изделий имеют огромное значение. Особое место среди известных различных направлений в технологии машиностроения занимает технология насосостроения со своими особенностями.

Разработку технологических процессов (ТП) условно можно классифицировать по следующим признакам:

- для конкретных изделий;
- для типовых деталей;
- для специальных (закрытых) заказов;
- для перспективных опытно-экспериментальных изделий;
- для адаптации заимствованных процессов.

Удельный вес каждого из этих признаков зависит от многих факторов: объема выпуска, сочетания с другой номенклатурой, принадлежности предприятия, наличия собственного научно-технического и кадрового потенциалов, требования к обновлению организационных структур и др.

Анализ современного развития технологии насосостроения показывает, что темпы напрямую зависят, кроме эффективности собственных разработок, от скорости интегрирования прогрессивных ре-

шений из других направлений. Это, в первую очередь, изготовление роторных изделий в энергомашиностроении. Технологии часто создаются под решение конкретных перспективных задач. Малоомощному предприятию сложно выделить необходимые средства для их реализации.

В этом отношении многономенклатурное крупное предприятие ПАО «Сумское машиностроительное НПО им. М.В.Фрунзе» при периодическом изготовлении крупных насосов (в т.ч. для АЭС) небольшими партиями имеет преимущества перед специализированными фирмами. В частности, по срокам освоения сложных новых изделий и выпуску модернизированных вариантов ранее изготовленной продукции [1].

Среди проблем, связанных с механизмом отбора наиболее эффективных вариантов ТП изготовления насосов, малоизученными остаются вопросы оценки их энергоемкости по всему маршруту основных операций. Сейчас энергозатратность (ЭЗ) применяемых ТП определяет экономическое состояние предприятия. Для укрепления рыночной конкурентноспособности необходимо чтобы его продукция имела также минимальную ЭЗ при использовании.

Снижение потребления энергоресурсов (ЭР) при изготовлении и эксплуатации насосов напрямую уменьшает стоимость полного жизненного цикла (ПЖЦ). Приведем выражение для определения технологической себестоимости для определяющих операций:

$$C_{\text{т}} = C_{\text{з}} + C_{\text{заг}} + C_{\text{эр}} + C_{\text{осн}} + C_{\text{об}} + C_{\text{свсп.}} + C_{\text{спр.}} + C_{\text{об.цех}} + C_{\text{снал.}} \quad (1)$$

где $C_{\text{з}}$ – заработная плата рабочих и наладчиков с начислениями; $C_{\text{заг}}$ – стоимость исходной заготовки с себестоимостью изготовления и материалов за вычетом отходов; $C_{\text{эр}}$ – затраты ЭР; $C_{\text{осн}}$ – затраты на оснащение: амортизацию и ремонт режущего инструмента с заточкой; ремонт мерительного инструмента, приспособлений; $C_{\text{об}}$ – затраты на амортизацию и ремонт (модернизацию) основного оборудования; $C_{\text{свсп.}}$ – затраты на вспомогательные материалы; $C_{\text{спр.}}$ – затраты на амортизацию, ремонт отопления, освещения, уборку производственных помещений; $C_{\text{об.цех}}$ – общецеховые расходы (зарплата вспомогательных рабочих, ИТР, служащих с начислениями, амортизация и ремонт вспомогательного оборудования, инвентаря, расходы на охрану труда и др.); $C_{\text{снал}}$ – затраты на налоги.

Очевидно, что все перечисленные составляющие напрямую или косвенно связаны с использованием ЭР. Поэтому важно вести их анализ, учет и разрабатывать меры по снижению. Таким образом, используемая для мелкосерийного производства упрощенная формула определения затрат (наш случай), входящих в цену насоса и далее в стоимость ПЖЦ:

$$Z = \text{Сзат.} + \text{Сз.пл}(1 + \text{Зцех}/100) + \text{Снал}, (2)$$

где Зцех – все цеховые накладные расходы в %, не позволяет проводить полноценный самоэнергоаудит ЭЗ.

В настоящее время наличие на предприятии компьютеризированной системы учета движения материальных ресурсов по технологическим маршрутам для каждой детали при ее доработке и установке счетчиков учета расхода ЭР позволяет эффективно целенаправленно вести работу по самоэнергоаудиту, анализируя каждое место возникновения ЭЗ.

Такой механизм должен охватывать не только энергетические, экономические службы и плановые показатели производственных цехов по выделяемым лимитам, а также сквозной мониторинг оценки эффективности разработок ТП и планов новой техники [2].

При разработке ТП приходится постоянно находить «компромисс» между его техническими и экономическими выходными составляющими. При чем, если экономия при изготовлении и эксплуатации насосов рассматривать совместно, то производитель должен четко осознавать необходимость повышения цены, а потребитель понимать, что это повышение позволяет ему в конечном итоге получить экономическую эффективность от улучшения показателей надежности и долговечности. Целесообразность проведения такого повышения требует выполнения тщательных совместных технико-экономических расчетов.

За последние годы требования по уровню среднего квадратического значения (СКЗ) виброскорости для многоступенчатых центробежных насосов (МСН) АЭС ужесточились в 2 раза, а стандарты, по которым изготавливаются электродвигатели, остались из 80-х гг. и разрабатывались под существующие в то время возможности. Например, внесение в ТП обработки опорных лап электродвигателя операции чистового фрезерова-

ния (или шлифования) с точностью выше чем по ГОСТ 8592-79 «Машины электрические вращающиеся. Допуски на установочные и присоединительные размеры и методы контроля», где для машин с размером более 1000 мм допуск повышенной точности 0,02/100, увеличивает трудоемкость всего на - 1,8 нормо/часов (н/ч). В тоже время применение такого решения уменьшает трудоемкость монтажа и центровки насосного агрегата на испытательной станции завода-изготовителя насосов на 8,3 н/ч и на месте эксплуатации у Заказчика соответственно на 69,5÷91 н/ч. Кроме требования по неплоскостности опорных поверхностей электродвигателя одновременно требуется ужесточение показателя непараллельности плоскости лап и оси вала до 0,02. По ГОСТ 13267-73 «Машины электрические вращающиеся и непосредственно соединяемые с ними неэлектрические. Высоты оси вращения и методы контроля» задается допуск 0,05 мм на 100 мм длины вала для исполнения высокой точности. При наличии переходных рам эта задача еще более усложняется. Принятие таких мер вместе с лазерной центровкой агрегатов (рис. 1) позволяет в 3-6 раз сократить трудоемкость подгоночных работ [3].

Руководствуясь такими соображениями фирмы Renk и Zollern (Германия) используют в конструкции подшипников скольжения разъемные маслоподающие кольца (рис. 2). Затраты на их изготовление больше чем обычных, но «окупаются» они у потребителя при разборке подшипниковых узлов.



Рис. 1. Центровка конденсатного насосного агрегата АКсВА1500-120 с помощью лазерного прибора

Косвенное влияние на ЭР можно показать на примере (рис. 3) использования оригинальной упаковки крупных электродвигателей ЗАО «Энергомаш» (Сысерть)-«Уралгидромаш» (г. Екатеринбург). Здесь сокращаются трудовые и ЭР на сушку древесины за счет уменьшения ее потребного объема.

Примером прямого влияния на уменьшение ЭЗ у изготовителя является замена старой градириной водооборотной системы на новую (разработка ПАТ «СМНПО им. М.В. Фрунзе») с применением высокоэффективной разбрызгивающей схемы (рис. 4). Результат: снижение мощности вентиляторов с 120 до 30 кВт, занимаемой площади в 8 раз, а объема - 30 раз.

В табл. 1 приведены примеры прогрессивных внедрений в технологии изготовления крупных насо-

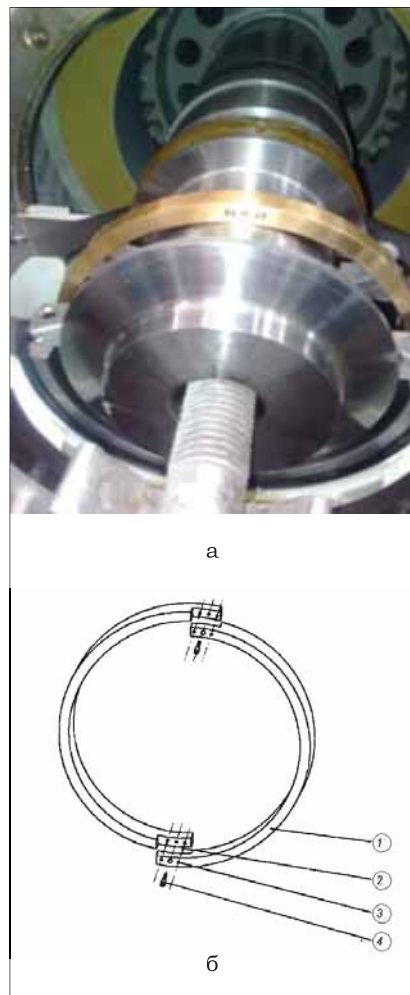


Рис. 2. Разъемное маслоподающее кольцо:
а – в подшипниковом узле;
б – схема крепления:
1 – смазочное кольцо,
2 – установочный иштифт,
3 – отверстие, 4 – винт

сов АЭС за последние 3 года, оказывающих влияние на снижение ЭЗ при повышении качества.

Экономический анализ технических решений одной из наиболее ответственных и ЭЗ операций при изготовлении длинных валов – термообработке позволил заимствовать из технологии ДПД метод регулируемого ускоренного охлаждения [4]. В результате кроме гарантируемого получения механических свойств и твердости по всей длине валов была исключена трудоемкая операция правки. Кривизна снизилась до приемлемых величин (рис. 9) и отпала необходимость в дорогостоящем правильном оборудовании (рис. 10).

Основой для непрерывного совершенствования технологических процессов должна быть не только потребность в снижении себестоимости изготовителя, а и уменьшение стоимости дальнейших этапов ЖЦ у Заказчика. Большое значение при этом отводится интегрированным решениям. Например, на блоках АЭС ВВЭР - 440 используется подпиточные насосы ЦН 50-135 и ЦН 60-180 для ВВЭР -1000, отличающиеся количеством ступеней и диаметром рабочих колес. Для действующих станций АЭС ВНИИАЭН была разработана конструкция насоса ЦН60-180-1 (изменения прочной части насоса, новые модернизированные подшипники и др.) [6]. Правильно заложенная еще при проектировании концептуальная схема насоса ЦН 50-135 также позволила ПАТ «СМНПО им. М.В.Фрунзе» совместно со специалистами АЭС «Мохови-



Рис. 3. Упаковка вертикального электродвигателя ВАН-118/51-8



а)



б)

Рис. 4. Общий вид градирни оборотного водоснабжения: а – старой конструкции; б – новой ГПВ-300(500)

це» (Словакия) провести его модернизацию:

- установить вместо 3-х рабочих колес 4 с улучшенной характеристикой;
- применить вышеприведенные положительные доработки с аналога ЦН 60-185-1.

В результате получено улучшение вибрационных характеристик при увеличении к.п.д. (рис. 11 а, б).

Сегодня примером востребованности для технологии насосостроения является появление на



Рис. 5. Измерение с помощью тепловизора тепловых полей нового насосного агрегата АЦНА 300-120 (Ленинградская АЭС-2) на испытательном стенде



Рис. 6. Зубчатая пара высокооборотного мультипликатора подпиточного насоса ЦН50-135-2



Рис. 7. Финишная обработка отверстия с глухим шпоночным пазом в рабочем колесе насоса ЦНА 150-90-2



Рис. 8. Балансировка ротора подпиточного насоса АЦНА 25-190 на вакуумном разгонном стенде

рынке цифрового датчика перемещения с дистанционным снятием показаний («беспроводны» индикатор), обеспечивающего выполнение:

- проверки биения внутренних труднодоступных посадочных поверхностей корпусов насосов (рис. 12) ;

Таблица 1. Перечень внедрений в 2011-2014 гг. прогрессивных интегрированных технологий, обусловивших экономию ЭР

| № п/п | Название и описание внедрения | Направление | Место применения |
|-------|---|---|--|
| 1 | Центровка насосных агрегатов с помощью лазерного устройства, рис.1 [3] | Новый прибор фирмы «Damalini» серии D450 (Швеция) | Целевое назначение |
| 2 | Использование тепловизора при тепловой сборке роторов , рис.5 | Современный прибор, разработана методика | Сборка бандажей толстоыстенных длинномерных труб (ДПД). |
| 3 | Повышение качества зубчатых быстроходных пар 6000-9000 об./мин.) зубошлифованием, рис.б. | Новый высокоточный зубошлифовальный станок мод. фирмы «Хофлер» (Германия). | Изготовление высокооборотных мультипликаторов для центробежных компрессоров. |
| 4 | Раскрой темплетов и контрольно – сварных соединений под образцы для механических испытаний. | Новая технология с использованием вертикального лентопильного станка с круглым столом. | В связи с увеличением количества образцов, при изготовлении ДПД. |
| 5 | Лазерная правка алмазных кругов при обработке твердых неметаллических материалов (силици-рованный графит, карбид бора и др.) | Новая комбинированная технология | Необходимость «сухой» правки алмазных (эльборовых) брусков при хонинговании ДПД [2]. |
| 6 | Кантовка рам корпусов насосов | Механический напольный кантователь (разработка предприятия) | Использование известного классического кантователя соседнего производства |
| 7 | Совмещение дробеочистки, окраски и сушки в проходных камерах | Оборудование | Использование возможностей компрессорного производства. |
| 8 | Восстановительное исправление мелких дефектов, обнаруженных на ответственных поверхностях после всех финишных операций. | Новая технология. | В результате проведения целенаправленного поиска применена интегрированная технология электроискрового легирования в инструментальном пр-ве. |
| 9 | Исправление формы посадочных отверстий деталей с прерывистыми поверхностями (шпоночные пазы и канавки) для гарантированной собираемости (разбираемости)роторов, рис.7. | Новый гибридный инструмент хондоводчик. Применим для зубчатых колес редукторов мультипликаторов | Объединение положительных особенностей хонинговальных головок и жестких притиров |
| 10 | Изготовление рабочих колес с узким каналом с использованием пайки в вакуумных печах [4]. | Доработка существующей технологии. | Займствовано из технологии производства центробежных компрессоров. |
| 11 | Нагрев деталей при сборке – разборке роторов имеющимися установками [5] | Применение новых индукторов и термопоясов | Доработана имеющаяся на пр-ве химоборудования передвижная установка термообработки сварных швов. |
| 12 | Проверка на вакуумном разгонном стенде балансировки роторов высокооборотных насосов при рабочих оборотах, рис. 8, [3] | Дополнительный метод проверки (особенно важно для новых насосов) | Использованы возможности специализированного подразделения объединения |

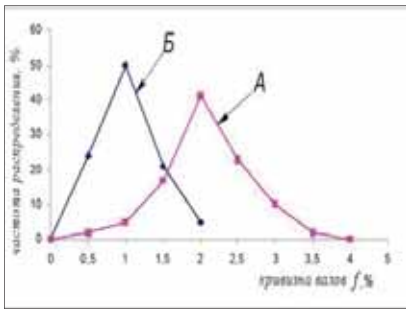


Рис. 9. Статистические данные кривизны валов:
А – до внедрения, комплекс для длинномерных деталей, Б – по новому способу



Рис. 10. Гидравлический правильный комплекс для длинномерных деталей

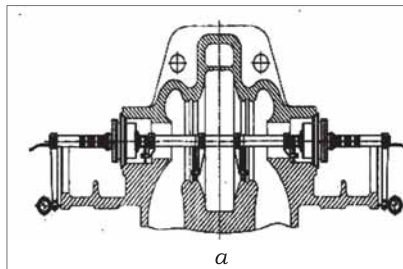


Рисунок 12. Приспособление для проверки биения ответственных поверхностей разъемного корпуса насоса КсА 1500-240-4: а – схема; б- общий вид (крышка снята)

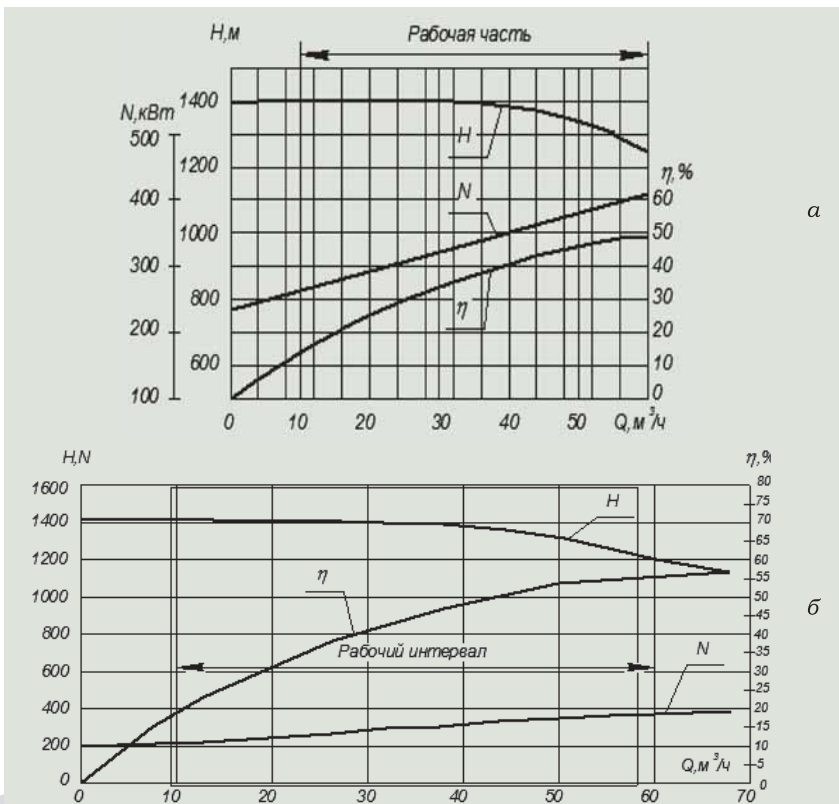


Рис. 11. Характеристики электронасосного агрегата ЦН50-135:
а – до модернизации (8980 об/мин); б – после модернизации (АЦНА50-135-2) приведено к 7850 об/мин

- проведение контроля гидрозатяжки шпилек главного разьема в насосах, находящихся в радиактивной зоне;
- центрирование насосных агрегатов с использованием валопроворота;
- проверку установки крупных деталей на станках и др.

Выводы:

Пооперационный анализ – самоэнергоаудит позволяет определять неэффективные места технологического маршрута для принятия конкретных мер по снижению ЭЗ. Рациональное управление возможностями современного развития технологии насосостроения обеспечивает успешность проведения планомерных работ по снижению себестоимости основных операций и экономии ЭЗ при повышении качественного уровня конкретных насосных агрегатов и систем.

Список литературы:

1. Пирогов А.Д. Поиск прогрессивных вариантов конструкторско-технологических решений основа для эффективного энергосбережения // Матер. межд. конф. «Энергетична безпека Європи. Погляд у XXI століття». – К.: – 2000. – С. 202-203.
2. Пирогов А.Д. Возможности самоэнергетического аудита интегрированных технологий на крупном машиностроительном предприятии. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2014– №4. – С. 6-17.
3. Пирогов А.Д. Новые технологические решения при изготовлении в атомном насосостроении. // Матер. межд.науч.-техн. конф. «Екоритр.ги 2013. Эффективность и экологичность насосного оборудования.»- М.: изд-во МГТУ им. Баумана, 2013.- С.44-45.
4. Пирогов А.Д. Прикладные исследования для повышения качественного уровня ответственных деталей. // Насосы & оборудование, 2013. – №4-5. – С.66-69.
5. Пирогов А.Д. Применение имитационных моделей при расчетах тепловых напрессовок ответственных соединений. // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2014. – № 1 (35) – С.38-43.
6. Елин В.К. Совершенствование подпиточных насосов системы безопасности АЭС. / В.К.Елин, А.В.Елин // Матер.межд. науч.-техн. конф. «Екоритр.ги 2009» Эффективность и экологичность насосного оборудования. – М.: изд-во МГТУ им. Баумана, 2009. – С.16-17.