

# ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОБОРОТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ С ПРЯМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

**А. Н. Гулый**

Кандидат технических наук, доцент\*

**А. А. Кобизская**

Аспирант\*

Контактный тел.: (0542) 33-54-79

E-mail: nastenka1187@ukr.net

\*Кафедра прикладной гидроаэромеханики

Сумский государственный университет

ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40002

*У даній статті проведено вивчення доцільності впровадження високооборотних насосів з прямим електроприводом. Дослідження проводилося для різних типів відцентрових насосних агрегатів. Головний критерій проведеного дослідження це відношення ціни до одиниці потужності*

*Ключові слова: високооборотний насос, перетворювач, двигун, ціна*

*В данной статье проведено изучение целесообразности внедрения высокооборотных насосов с прямым электроприводом. Исследование проводилось для различных типов центробежных насосных агрегатов. Основной критерий проведенного исследования это отношение цены к единице мощности*

*Ключевые слова: высокооборотный насос, преобразователь, двигатель, цена*

*The research of high-speed dynamic pumping aggregates implementation with the direct electric drive is performed in this article. Researches are performed for various types of centrifugal pumping aggregates. The main criterion of the conducted research is the relation of the price to a power unit*

*Keywords: high-speed pump, inventor, motor, price*

## Введение

В настоящее время большинство промышленных центробежных насосных агрегатов имеет синхронную частоту вращения 3000 об/мин (3600 об/мин), как максимальную частоту вращения синхронных и асинхронных электродвигателей, имеющих непосредственное подключение к промышленной электрической сети 50 Гц (60 Гц) [1].

Несмотря на то, что энергетическая эффективность центробежных насосов повышается с кубом частоты вращения, фактор сложности и дороговизны привода с частотой вращения более высокой, чем указанная, сдерживает продвижение высокооборотных промышленных центробежных насосов на рынке. Однако, благодаря прогрессу в области силовых полупроводников за последнее десятилетие, цены на силовые инверторы настолько снизились (рис. 1), а показатели надежности настолько выросли, что у многих возникает ощущение того, что сейчас внедрение высокооборотных центробежных насосных агрегатов с непосредственным электроприводом и повышающим инвертором во многих случаях мо-

жет быть целесообразным [2]. И подобные агрегаты начинают появляться на рынке.

Таким образом, можно считать, что у конструкторов центробежных насосов появился еще один переменный фактор, нуждающийся в оптимизации - частота вращения. Задача это непростая, так как приходится учитывать разнообразные сопутствующие факторы: кавитация, динамика, прочность, эрозионный износ, некоторые осложнения технологии и т.д.

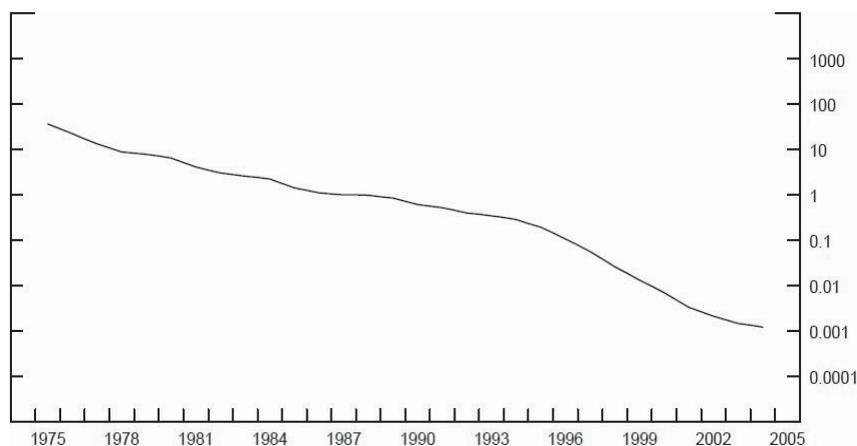


Рис. 1. Цены на полупроводники (логарифмическая шкала, 1987=1) [3]

**Основная часть**

В первой части работы на основе простейшей теории центробежных машин и имеющейся в открытом доступе технико-коммерческой информации выполнен предварительный упрощенный анализ целесообразности исследований в данном направлении для основных известных классов промышленных центробежных насосов.

В качестве первого приближения достаточно оценить порядок изменения первоначальной цены агрегата при повышении частоты вращения в предположении о неизменности остальных наиболее важных технических характеристик. При этом в качестве исходных данных будем принимать действующие средние цены на существующее оборудование. Цены же на вновь создаваемое оборудование будем определять на основании технико-стоимостного анализа составляющих частей оборудования, либо путем параметрической интерполяции и экстраполяции цен на существующее оборудование [4].

В состав центробежного насосного агрегата в большинстве случаев входит:

- собственно насос,
- электродвигатель,
- соединительная муфта,
- рама,
- пусковое электрическое устройство,
- контрольно - измерительные приборы и аппаратура.

Исключение составляют моноблочные, герметичные и погружные агрегаты, в которых двигатель и насос могут быть сконструированы одним блоком, а рама и соединительная муфта вообще может отсутствовать.

Как правило, насосный агрегат поставляется либо в полном сборе, либо на раме, с муфтой и всеми другими составляющими кроме электродвигателя. Для такой комплектации, как правило, указывается и цена. В таком случае цена агрегата может быть представлена в виде:

$$C = C_n + C_{дв} \tag{1}$$

где:  $C_n$  - цена насоса,  
 $C_{дв}$  - цена двигателя.

В случае же применения высокооборотного привода добавляется цена преобразователя, и выражение принимает вид:

$$C = C_n + C_{дв} + C_{пр} \tag{2}$$

где  $C_{пр}$  - цена преобразователя частоты.

Очевидно, при переходе к высокооборотной схеме агрегата, цены насоса и двигателя также будут изменяться, и будут зависеть от принятой частоты вращения, поскольку изменятся их масса, габариты, а также отдельные конструктивные решения. Рассмотрим далее все составляющие компоненты цены агрегата.

Теперь можно определить зависимость цены насоса от частоты вращения. В качестве примера возьмём насосы типа К. По известной формуле [1]  $N = \gamma \cdot Q \cdot H$  определим мощность для каждой марки

насоса, затем с помощью метода наименьших квадратов можем определить коэффициенты, по которым получаем формулы для расчёта цены насоса в зависимости от его мощности:

для  $n=3000$  об/мин:

$$C = 2600(0,12 + N^{0,87}), \tag{3}$$

для  $n=1500$  об/мин:

$$C = 7000(0,12 + N^{0,87}). \tag{4}$$

Тогда можно сделать вывод о том, что стоимость насоса при  $n=3000$  об/мин меньше стоимости насоса при  $n=1500$  об/мин в  $7000/2600=2,7$  раза, но это только для насосов типа К. Можно построить графическую зависимость (рис. 2), из которой видно, что при повышении частоты вращения стоимость насоса снижается, а соответственно и стоимость агрегата тоже снижается. При построении данной зависимости, мы считаем, что стоимость насоса снижается при каждом увеличении частоты вращения на 1500 об/мин в 2,7 раза.

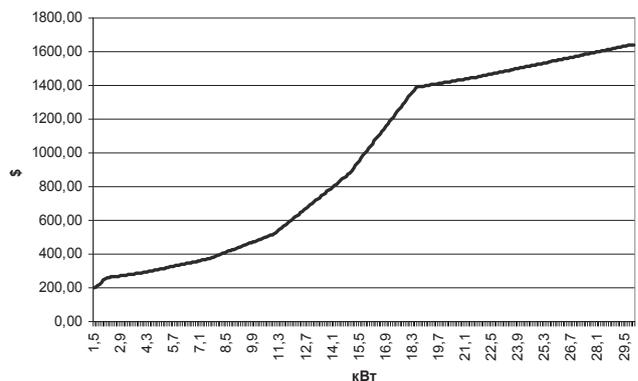


Рис. 2. Зависимость цены насоса типа К от мощности

Для определения зависимости цены от частоты вращения рассмотрены цены электродвигателей общепромышленного исполнения по прайс-листу фирмы "Римос" [5] в диапазоне мощностей от 1,5 до 200 кВт с частотами вращения 3000, 1500 и 1000 об/мин. Цены двигателей на 3000 об/мин и на 1500 об/мин во всем диапазоне мощностей практически совпадают. В среднем, более быстроходный двигатель дешевле, но всего на 8%. Между двигателями на 1000 об/мин и 1500 об/мин разница составляет в среднем 36%. Зависимость средней цены от мощности представлена ниже (рис. 3). Можно предположить, что с дальнейшим ростом частоты вращения свыше 3000 об/мин цена двигателя уже не будет существенно меняться, поэтому будем принимать цену высокооборотных двигателей равной цене двигателей на 3000 об/мин.

Значение последней, в свою очередь, хорошо описывается функцией:

$$C_{дв} = 1000 + 1500N^{0,97}, \tag{5}$$

где  $N$  - мощность (кВт).

Согласно полученной формуле можно сказать, что цена двигателя не зависит от частоты вращения, а зависит только от значения его мощности.

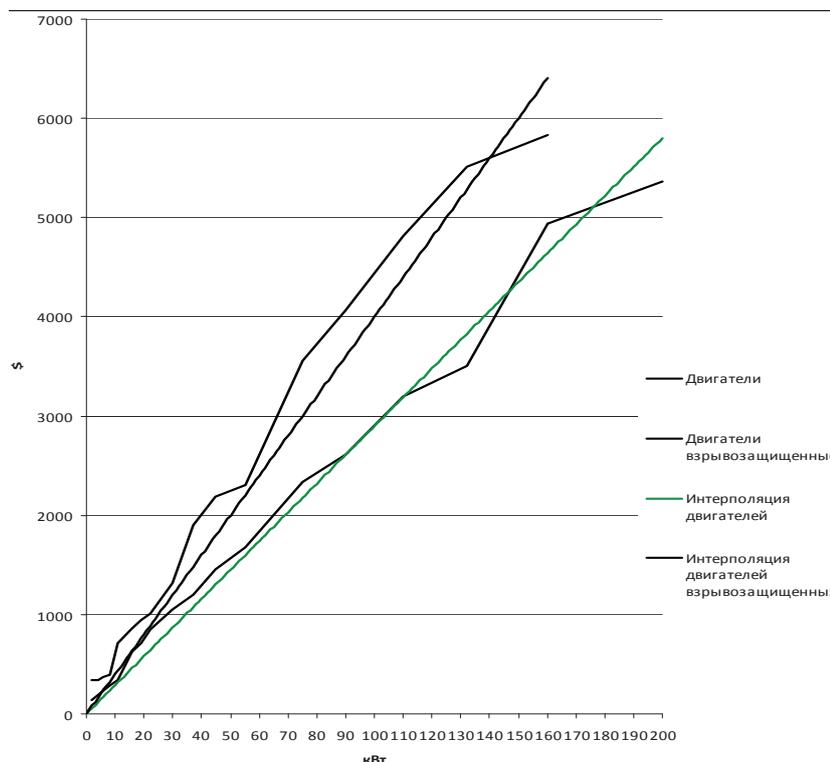


Рис. 3. Зависимость цены двигателя от мощности

В настоящее время на рынке представлено большое разнообразие электронных преобразователей частоты различных производителей - как зарубежных, так и отечественных.

По материалам прайс-листов производителей и дилеров можно определить среднюю цену преобразователей (рис. 4) в виде линейной зависимости от номинальной мощности с коэффициентом пропорциональности 100 \$/кВт и представить ее в виде:

$$C_{\text{пр}} = 260 + 66 \cdot N, \quad (6)$$

где N - номинальная мощность преобразователя (кВт).

Анализ цен затрудняет тот фактор, что производители крупных промышленных насосов не публикуют прайс-листы и формируют цены индивидуально по запросу. Настоящие исследования стали возможными лишь благодаря некоторым особенностям рынка промышленной продукции РФ. Благодаря тому, что этот рынок имеет исключительно большой объем, а представленная на нем промышленная продукция сохранила по наследству от СССР исключительно высокую степень унификации даже у разных производителей, в стране сложились единые

рыночные цены на насосное оборудование вплоть до самых крупных машин, используемых в энергетике, транспорте нефти и воды. Прайс-листы большого объема на насосы и насосные агрегаты приведены в открытом доступе на сайтах крупных оптовых поставщиков промышленной продукции в РФ.

В работе применялись данные поставщика насосного оборудования в основном [5], а также других данных находящихся в открытом доступе.

Стоимостная оценка была проведена для следующих групп насосных агрегатов (рис. 5):

- однокорпусные многоступенчатые (секционные) насосы для воды и неагрессивных жидкостей;
- двухкорпусные многоступенчатые насосы для горячей воды (энергетика);
- многоступенчатые насосы для химических и нефтехимических производств;
- одноступенчатые консольные насосы широкого назначения для холодной воды;

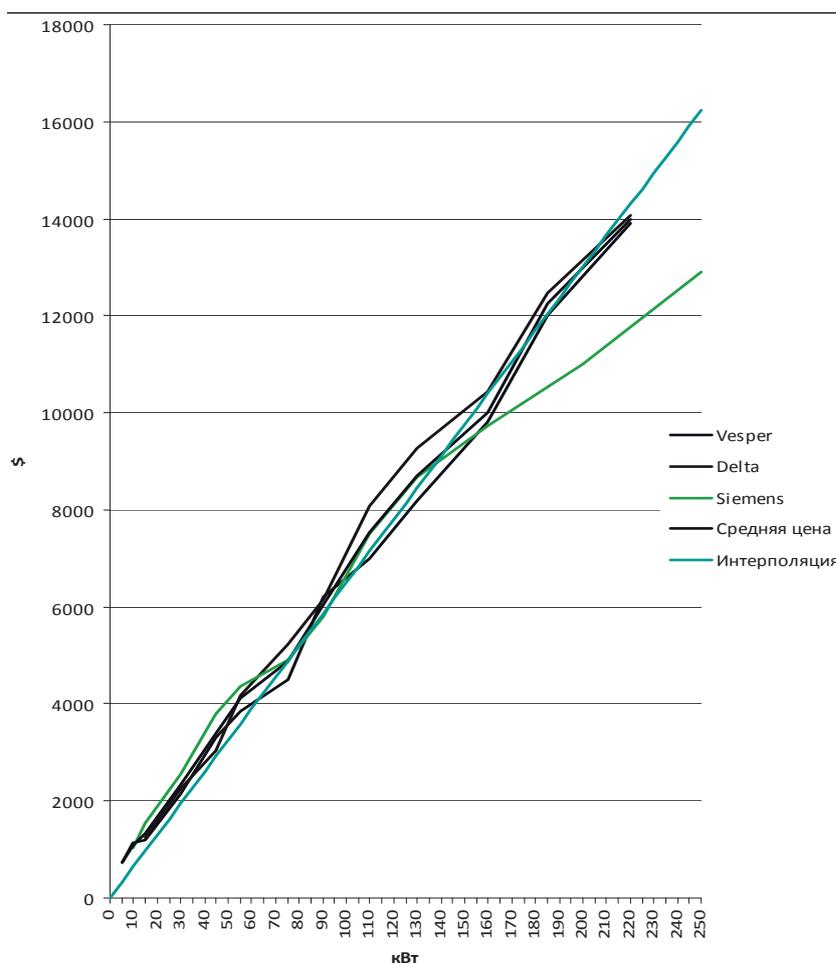


Рис. 4. Зависимость цены преобразователя от мощности

- одноступенчатые двухпоточные насосы для холодной воды;
- одноступенчатые консольные насосы для холодных и горячих нефтепродуктов;
- одноступенчатые консольные насосы для химических производств;
- погружные (скважинные) насосы для подъема воды;
- погружные (скважинные) насосы для нефти и нефтесодержащих жидкостей.

методики определения стоимости жизненного цикла [6], сюда можно также отнести те случаи, когда инверторы все чаще применяются для регулирования производительности агрегатов в целях энергосбережения.

В виду того, что в каждой группе насосов вариации их параметров очень существенны, в качестве единицы сравнения принимаем для каждой группы, а также для двигателя и инвертора показатель цены, отнесенный к единице мощности (\$/кВт).

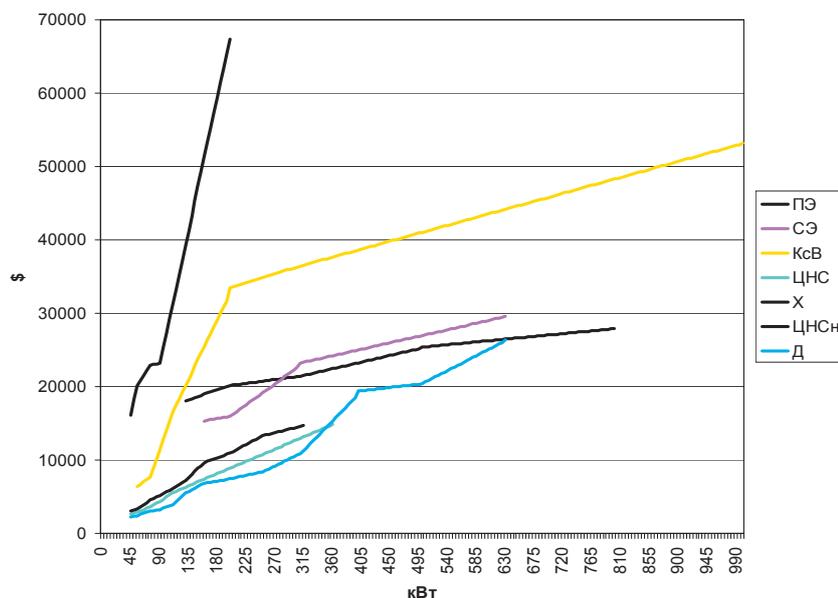


Рис. 5. Зависимость цены насосных агрегатов различных типов от их мощности

Критерий предварительной оценки следующий:

- цена инвертора больше суммарной цены насоса и двигателя - нет экономических перспектив;
- инвертор существенно дешевле (в два раза и более) суммарной цены насоса и двигателя - экономически привлекательный вариант;
- промежуточный вариант между 1 и 2 - необходимо более детальное исследование с привлечением

- скважинные насосы для воды и нефти - радикальное снижение цены за счет уменьшения числа ступеней, повышение дебета скважин для данного диаметра обсадной трубы

В то же время переход на высокие частоты вращения нерационален для дешевых одноступенчатых насосов, поскольку их цены значительно ниже цен на преобразователи частоты.

### Выводы

В ходе проведенного были определены следующие типы насосов, для которых повышение частоты вращения является перспективным направлением:

- химия и нефтехимия (Х, НК, НПС) - экономия дорогих металлов и сплавов, стойких к агрессивной среде;
- высоконапорные насосы ЦНС с малыми подачами (10, 25 м<sup>3</sup>/ч) - с частотами вращения до 3000 об/мин вообще невозможно создание эффективных насосов из-за малого n<sub>н</sub>, повышение пластового давления, гидроочистка и т.д.;
- питательные насосы для энергоблоков - снижение стоимости и повышение КПД, возможность использования парового турбопривода;

### Литература

1. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
2. <http://www.osti.gov/bridge>. - A Review of PV Inverter Technology Cost and Performance Projections.
3. <http://www.federalreserve.gov/pubs/feds/2006/200644/200644pap.pdf>. - «Shifting Trends in Semiconductor Prices and the Pace of Technological Progress» Ana Aizcorbe, Stephen D. Oliner, and Daniel E. Sichel.
4. Слепов В.А. Попов Б.В. Вопросы комплексного подхода к ценообразованию в новых экономических условиях.— М.: Система, 2004. - 165 с.
5. <http://www.rimos.ru>.
6. [http://www.europump.org/p2112/files/LCC\\_Executive\\_Summary.pdf](http://www.europump.org/p2112/files/LCC_Executive_Summary.pdf).