

# ИНВЕСТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Зобов Игорь Борисович, к.т.н., Кладкевич Дмитрий Иванович,  
Клименко Петр Анатольевич

В беседах с потенциальными заказчиками часто приходится слышать вопрос: «А сколько долларов (или Евро) у вас стоит киловатт?».

От этого вопроса можно было бы отмахнуться или вежливо намекнуть на его несерьезность. В самом деле, не дрова ведь предлагаем, «сколько у вас стоит куб?».

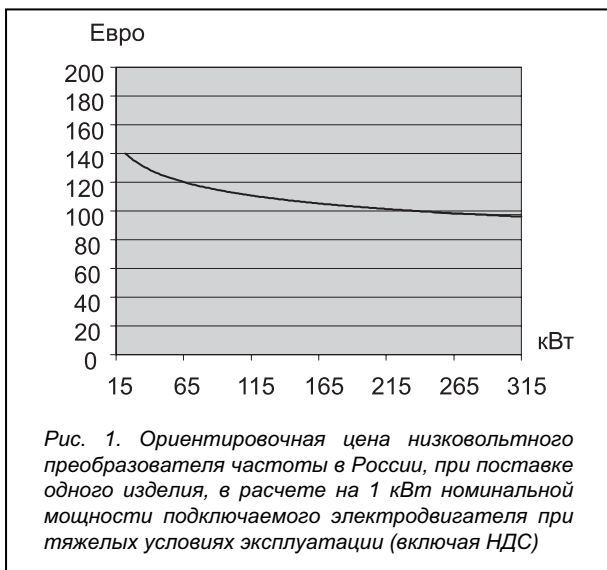
Однако это вопрос задается с удивительным постоянством уже 10 лет. Следовательно, надо отвечать.

«Киловатт» у всех стоит примерно одинаково – 100. Если поторговаться, то 80. Мы даже «вывели» зависимость, чтобы было удобнее считать (рис. 1). Вместе с тем, требуются комментарии.

## ***Комментарии к стоимости преобразователя частоты***

1. «Номинальная мощность» преобразователя частоты – термин достаточно условный.

При его использовании обычно имеется в виду номинальная мощность подключаемого к ПЧ асинхронного электродвигателя. «Величина» преобразователя определяется, прежде всего, напряжением и допустимым выходным током. Электродвигатель никогда не используется сам по себе. Он нужен в составе электропривода, обеспечивающего определенный момент на валу и конкретную нагрузочную диаграмму. Если при работе электропривода перегрузки случаются редко (насос, вентилятор и др.), говорят о «нормальном» использовании ПЧ. Если перегрузки являются нормой (резиносмеситель, шаровая мельница) и серьезно влияют на нагрев силовых элементов, считают, что ПЧ работает в «тяжелых условиях». Англоязычные термины, применяемые в каталогах, могут различаться, но суть при этом не меняется. Конкретный ПЧ



может обеспечить работу электропривода в обоих случаях, но во втором «номинальная мощность» окажется меньше. Это надо учитывать в знаменателе «популярного» показателя «доллар за киловатт».

2. Чем меньше номинальная мощность преобразовательного модуля, тем выше при прочих равных условиях «удельная стоимость» одного киловатта. Для преобразователя мощностью 500 кВт это, например, 70 Евро. Для преобразователя мощностью 250 Вт это может быть 900 Евро. Интересуясь показателем «доллар

(Евро) за киловатт», следует, как минимум, указать мощность ПЧ.

3. Чем жестче требования по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) ПЧ и установленного на объекте электрооборудования, тем выше при прочих равных условиях «удельная стоимость» одного киловатта. Это вызвано необходимостью дополнять преобразовательный модуль входными и выходными фильтрами.

Многие солидные фирмы просто не продают ПЧ без дросселя (на входе или в звене постоянного тока преобразователя). В изделия небольшой мощности часто встраивается RFI-фильтр (для крупных ПЧ это чаще опция). Синусоидальный или du/dt фильтр на выходе преобразователя также увеличивает габариты и стоимость изделия. В результате цена «голого» преобразователя частоты окажется существенно ниже альтернативного варианта, гарантирующего конечному пользователю отсутствие проблем с ЭМС в будущем.

4. Чем выше степень защиты ПЧ (IP-класс), тем выше стоимость преобразователя.

Конечный пользователь может купить «дешевый» модуль в исполнении IP-00 и встроить его в собственный конструктив. При этом некорректно сравнивать цену преобразователей разных поставщиков, например в исполнении IP-00 и IP-21.

5. Преобразователи «общаются» с другими средствами автоматизации и с человеком посредством различных интерфейсов.

Вид работ	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Согласование общего решения строительства/реконструкции						
Обоснование цены проекта, разработка схем договорных отношений						
Подготовка и подписание договоров подряда						
Менеджмент проекта						
<i>Система частотного регулирования</i>						
Разработка схемотехнических и компоновочных решений ОПЗ						
Закупки комплектующих группы А						
Выполнение строительных работ, подготовка площадок для ОПЗ						
Разработка схемотехнических решений и выбор оборудования САУ						
Выполнение рабочей документации						
Разработка прикладного программного обеспечения						
Экспертиза и согласование проекта						
Закупки комплектующих группы Б						
Изготовление нестандартного оборудования						
Проведение заводских испытаний						
Выполнение строительно-монтажных работ						
Разработка эксплуатационной документации						
Обучение персонала эксплуатационных подразделений						
Проведение индивидуальных испытаний						
Выполнение комплексного опробования						
Организация опытной эксплуатации СЧР						

**Комплектующие группы А**

- Трансформаторы
- Преобразователи частоты
- Фильтры
- Ячейки высоковольтные

**Комплектующие группы Б**

- ПЛК, модули расширения и связи
- Операторские панели
- Системное программное обеспечение для ПЛК
- Датчики, конструктивы, монтажные материалы

Рис. 2. Пример графика производства работ по СЧР сетевой насосной установке

«Дружелюбный» интерфейс предполагает графическую операторскую панель, поддержку последовательного канала связи с каким-либо стандартным протоколом (Modbus, Profibus и др.), десяток дискретных входов-выходов и 2...3 аналоговых.

Напротив, дешевый преобразователь может иметь лишь панель оператора с семисегментными индикаторами и модули расширения, поставляемые за отдельную плату.

6. Потребительские функции ПЧ реализуются во многом за счет встроенного программного обеспечения. «Продвинутое» преобразователи позволяют пользователю свободно программировать собственные алгоритмы и записывать программы в отведенные для этого разделы памяти. Заводские макропрограммы при этом сохраняются и могут быть активизированы с операторской панели или по интерфейсам. Естественно, что такой ПЧ стоит дороже своего более простого собрата.

Помимо этих и других технических особенностей, влияющих на цену ПЧ, имеются и чисто коммерческие условия. Так, «удельная стоимость» десяти преобразователей, закупаемых в одной партии, будет очевидно меньше соответствующего

показателя при приобретении одного-единственного ПЧ.

### Комментарии к стоимости работ по установке и вводу в эксплуатацию преобразователя частоты

Преобразователь частоты, как и электродвигатель, не нужен конечному пользователю «сам по себе». Как минимум, он должен быть установлен, подключен, настроен, введен в эксплуатацию. Должен быть обучен (проинструктирован) оперативный персонал и составлены инструкции по эксплуатации. Экономист на одном из предприятий городского хозяйства пояснил нам, что такие работы «ничего не стоят, поскольку выполняются своими силами». Если так принято в организации, то от них, конечно же, можно абстрагироваться.

Однако, если технологическая система ответственная и работы выполняет подрядчик, то необходимо учесть содержание и продолжительность всего комплекса работ (рис. 2)

Очевидно, что полная стоимость работ зависит от сложности согласованного с заказчиком технического задания, количества участвующих организаций, применяемых расценок и массы

Таблица 1. Пример расчета показателей инвестиционного проекта создания системы частотного регулирования группы сетевых насосных агрегатов турбинного цеха теплоэлектростанции промышленного предприятия

Инвестиции в комплекс работ системы частотного регулирования сетевых насосных агрегатов турбинного цеха ТЭС						
Цена комплекса работа (все цифры стоимости без НДС)	руб.					12 850 000
Проект рассчитан на	лет					12
Амортизация активов равномерная (линейная)	% в год					8,3
Средневзвешенный тариф на эл.энергию на 2007 г.	руб/кВт*час					1,2
Рост тарифа на оплату эл. энергии за год (прогноз)						1,1
Стоимость ППО и ППР в год	руб.					50 000
Рост стоимости услуг по сервису в год						1,15
Ставка налога на прибыль						0,24
Цена авансированного капитала						18,0%
Ликвидационная стоимость оборудования через 12 лет	руб.					2 000 000
	№ п/п	год	2008	2009	2010	2011
Снижение расхода эл. энергии,	кВт*час			3 570 000	3 570 000	3 570 000
Тариф на оплату эл. энергии	руб/кВт*час	1,37		1,57	1,80	2,06
<b>Снижение издержек на оплату эл. энергии, без НДС</b>	<b>руб.</b>			<b>5 616 431</b>	<b>6 430 814</b>	<b>7 363 282</b>
<b>Текущие расходы на обслуживание АПК СЧР</b>	<b>руб.</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50 000</b>
<b>Износ (амортизация)</b>	<b>руб.</b>			<b>1 070 833</b>	<b>1 070 833</b>	<b>1 070 833</b>
Стоимость имущества на начало года	руб.			12 850 000	11 779 167	10 708 333
Стоимость имущества на конец года (за вычетом амортизации)	руб.			11 779 167	10 708 333	9 637 500
Среднегодовая стоимость имущества	руб.			12 314 583	11 243 750	10 172 917
<b>Налог на имущество (2,2%)</b>	<b>руб.</b>			<b>270 921</b>	<b>247 363</b>	<b>223 804</b>
Налогооблагаемая прибыль	руб.			4 274 677	5 112 618	6 018 644
<b>Налог на прибыль</b>	<b>руб.</b>			<b>1 025 922</b>	<b>1 227 028</b>	<b>1 444 475</b>
<b>Чистая прибыль</b>	<b>руб.</b>			<b>3 248 754</b>	<b>3 885 590</b>	<b>4 574 170</b>
<b>Операционный денежный поток</b>	<b>руб.</b>			<b>4 319 588</b>	<b>4 956 423</b>	<b>5 645 003</b>
Дисконтирующий множитель	–			0,85	0,72	0,61
Дисконтированный к 2008 г. ОДП	руб.			3 660 668	3 559 626	3 435 723
<b>Инвестиции в 2007 году</b>	<b>руб.</b>		<b>(12 850 000)</b>			
<b>Денежный поток нарастающим итогом</b>	<b>руб.</b>			<b>(8 530 412)</b>	<b>(3 573 989)</b>	<b>2 071 013</b>
Сегодняшняя ценность денежного потока нараст. итогом	руб.			(9 189 332)	(5 629 707)	(2 193 984)
<b>NPV (приведенная стоимость будущего ДП)</b>	<b>руб.</b>		<b>31 405 765</b>			
Приведенная остаточная стоимость оборудования на 2018 год	руб.		274 439			
<b>NPV проекта</b>	<b>руб.</b>		<b>18 830 204</b>			
Простой срок окупаемости	лет		2			
Динамический срок окупаемости	лет		3			
Индекс прибыльности	–		2,44			
IRR проекта	%		45			

других факторов. Например, для системы частотного регулирования топочных процессов котла ДКВР с двумя преобразователями частоты стоимость ПЧ, отнесенная к их суммарной установленной мощности, может составить 70 Евро/кВт. Стоимость полного комплекса работ для той же системы окажется 300 Евро/кВт.

### **Комментарии к стоимости работ по обслуживанию и ремонту преобразователя частоты**

Большая группа заказчиков приобретает преобразователи частоты в надежде получить от этого пользу в виде снижения издержек на оплату электроэнергии и других видов ресурсов. Очевидно, что польза будет тем выше, чем заметнее удастся эти издержки снизить и чем дольше такое счастье будет продолжаться. Таким образом, заказчик рассчитывает на исправную работу ПЧ в течение продолжительного срока (12...15 лет).

Положим, первые один-два года издержки на техническую поддержку можно не планировать, все же изделие на гарантии. Однако, если в течение 4...5 лет не обслуживать ПЧ, не чистить радиатор, не контролировать состояние конденсаторов в звене постоянного тока, не проверять вентиляторы, то риск отказа возрастает.

Вышедший из строя преобразователь, как правило, можно отремонтировать. Вопрос только – в какие сроки и за какие деньги.

Если поблизости есть сервисный центр с хорошим складом запчастей, то ремонт можно выполнить за 1-2 дня. На время ремонта заказчику предоставят резервный преобразователь, чтобы обеспечить технологический процесс.

А как быть, если вам предложат отправить изделие на завод в Италию или оплатить командировку специалиста сервисной службы из Канады?

Очевидно, что польза от применения частотно-регулируемого привода уменьшится на величину издержек на сервис.

Таким образом, вопрос «А сколько долларов у вас стоит киловатт?» трансформируется в более конкретный: «А сколько денег я получу на вложенный рубль?».

Для ответа на этот вопрос специалисты Инженерного центра «АРТ» и предприятия заказчика совместно составляют таблицу, подобную приведенной (табл. 1).

В данном примере сделаны допущения: 1) весь комплекс работ от ТЭО до ввода в эксплуатацию выполняется в течение года и 2) за-

казчик оплачивает его из собственных средств (здесь эта сумма составляет 12 млн. 850 тыс. рублей).

Экономический эффект от использования СЧР возникает с началом ее работы (2009 год) и заключается в снижении расхода электроэнергии на привод агрегатов насосной группы (3570000 кВт·час за годовой цикл эксплуатации). Эта цифра определена по результатам энергетических расчетов с учётом имеющихся характеристик насосных агрегатов, количеством параллельно работающих насосов в различных режимах и прогнозируемых графиков технологической нагрузки. Положительный эффект от снижения издержек, связанных с текущим обслуживанием электродвигателей, насосов, запорно-регулирующей арматуры, коммутационной аппаратуры и др. на данном этапе не учитывается.

Дополнительные издержки на ППО и ППР оборудования преобразовательного звена возникают по завершении гарантийного срока. Они оценены как 150 тыс. руб. в год на момент начала работ и растут ежегодно на 15%.

Денежный поток рассчитан на 12 лет (срок полезного использования СЧР) с учётом равномерной амортизации активов, налога на имущество 2% и налога на прибыль 24%.

В примере расчета «Денежный поток нарастающим итогом» через два года становится положительным. Это показывает, что простой срок окупаемости проекта примерно два года.

Приведенная стоимость будущего денежного потока (PV) вычисляется с учётом согласованной с заказчиком цены авансированного капитала. В данном случае принята ставка 18%. При этом PV составляет 31405765 рублей.

Чистая приведенная стоимость будущего денежного потока (NPV проекта) определяется с учётом первоначальных инвестиций и приведенной остаточной стоимости оборудования СЧР, которое может быть использовано в других целях по завершении эксплуатации системы частотного регулирования. Как правило, это стоимость сухих трансформаторов со сроком службы 25 лет.

Теперь можно ответить на вопрос заказчика: «Сколько денег я получу на вложенный рубль?». Примерно 2 руб. 44 коп. (индекс прибыльности проекта, который получен делением приведенной стоимости будущего денежного потока на величину первоначальных инвестиций).

Обобщающим показателем является внутренняя норма доходности проекта (IRR проекта). Для данной системы она составляет 45%. Если бы деньги были положены в банк «под

проценты», то эта цифра была бы в 3–4 раза меньше.

Приведенный расчет является лишь грубой оценкой, результаты которой зависят от принятых допущений (например, от прогнозируемой стоимости электроэнергии). Однако он позволяет вести с заказчиком честный разговор и учесть важные для него составляющие доходов и расходов.

За 10 лет работы Инженерным центром «АРТ» накоплен богатый опыт реализации проектов систем частотного регулирования.

Простой срок окупаемости СЧР составляет при действующих тарифах на электроэнергию 3...4 года. Вместе с тем, данный показатель не самый удобный, поскольку применяется чаще для «коротких» инвестпроектов с высоким риском.

Проекты СЧР, напротив, отличаются малым риском (при профессиональном менеджменте) и достаточно большим сроком полезного использования оборудования (12...15 лет). Их внутренняя норма доходности (IRR) может достигать 50 %, что обуславливает высокую привлекательность инвестиций.

В течение планового срока полезного использования оборудования СЧР конечный пользователь может рассчитывать на дополнительную

прибыль в течение 8...10 лет в объеме до 100% первоначальных инвестиций.

Системы частотного регулирования на объектах городского хозяйства и промышленности – это выгодно и удобно.

Для потребителей они гарантируют высокое качество теплоснабжения, водоснабжения и др.

Рядовому персоналу эксплуатационных подразделений СЧР обеспечивают лучшие условия труда.

Специалистам по КИП и АСУ – предоставляя своевременную информацию о работе инженерных систем.

Технологу и диспетчеру СЧР дают новые возможности управления технологическим процессом.

Мастер эксплуатационного участка и энергетик видят пользу от СЧР в уменьшении эксплуатационных расходов.

Для экономиста СЧР – это способ снижения себестоимости продукции.

Для директора предприятия – реальная возможность повышения конкурентоспособности собственной продукции.

Для собственника/инвестора – вложение средств с высокой доходностью и минимальным риском.