



Инженерный центр
«Автоматизация
ресурсосберегающих
технологий»
www.ic-art.ru

*Публикации специалистов
Инженерного центра «АРТ»*

Семь различий преобразователей частоты и систем частотного регулирования

*Зобов Игорь Борисович, к.т.н.,
Киселева Елена Анатольевна*

Опубликовано в издании
“ТЕПЛОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”,
информационный бюллетень № 2 (47) 2007, специальный выпуск
“Системы частотного регулирования на объектах городского
хозяйства и промышленности”

Офис Инженерного центра «АРТ»

195196, г. Санкт-Петербург, Таллинская ул., д. 7, литер «А»

Офисный центр «К12». Офис 2-Н

+7 (812) 445-24-22; 445-24-76; 445-23-47

e-mail: office@ic-art.ru

www.ic-art.ru



YouTube Канал «Инженерный центр «АРТ»

СЕМЬ РАЗЛИЧИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ И СИСТЕМ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Зобов Игорь Борисович, к. т. н., Киселева Елена Анатольевна

В фильме «Начальник Чукотки» режиссёра Виталия Мельникова есть сцена «рынка», на котором американские коммивояжеры продают местным жителям граммофонные трубы. Из трубы доносится музыка, стимулирующая покупателя совершить покупку. Когда после завершения сделки счастливый владелец трубы пытается воспользоваться ею без граммофона, он с удивлением обнаруживает, что музыка сама по себе не рождается.

Эта несложная технология часто применяется продавцом людям при сбыте импортных преобразователей частоты (ПЧ) в России лет 5-7 назад. Удивительно, но иногда подобные сделки встречаются и сегодня.

Продавец вдохновенно доказывает, что преобразователь частоты:

- экономит 30% электроэнергии;
- устраняет гидравлические удары в трубопроводах;

- продлевает ресурс электродвигателей;
- облегчает работу персонала, и др.

При этом не акцентируется, что заказчику для реализации этих «полезностей» придется выбрать один из вариантов:

- купить в дополнение к трубе граммофон и пластинку;
- изготовить граммофон и пластинку из подручных материалов;
- дудеть в трубу самолично.

Хорошо, если граммофон и пластинка у заказчика имеются. Например, когда ПЧ покупается взамен вышедшего из строя изделия и устанавливается в существующую систему для реализации прежних алгоритмов. Но это скорее частный случай.

С точки зрения товарного предложения, преобразователи частоты и системы частотного регулирования (СЧР) во многом аналогичны трубам и граммофонам.



Рис. 1. Преобразователи частоты

У преобразователей частоты и систем частотного регулирования есть много общего. Как ПЧ, так и СЧР позиционируются в основном как товары производственного назначения.

Потребительские функции ПЧ и СЧР базируются прежде всего на их «умении» вращать двигатель переменного тока с разной скоростью.

Покупаются ПЧ и СЧР главным образом организациями.

Подготовка сделки со стороны заказчика осуществляется, как правило, не отдельным должностным лицом, а Закупочным центром.

При использовании ПЧ и СЧР требуется консультационное и сервисное обслуживание.

На этом, по большому счёту, сходство заканчивается. Однако существуют принципиальные различия между преобразователями частоты и системами частотного регулирования.

Различие 1. Материальная продукция в составе товарного предложения преобразователей частоты и систем частотного регулирования

Статический преобразователь частоты – это устройство, преобразующее систему переменного тока одной частоты в систему переменного тока другой частоты.

В материалах данного сборника мы будем обозначать термином «преобразователь частоты» автономный преобразователь с промежуточным звеном постоянного тока, предназначенный для использования в составе электропривода (фото на рис. 1).

Преобразователь частоты – это изделие, собранное и запрограммированное с соблюдением определенных технических условий на заводе, прошедшее комплекс заводских испытаний и

применяющееся покупателями в любой части планеты в соответствии с возможностями изделия и квалификацией самих покупателей.

Система частотного регулирования представляет собой совокупность основного и вспомогательного оборудования преобразовательного звена, технических и программных средств, реализующих заданный набор потребительских функций; СЧР предназначается для реализации технологии частотного регулирования в инженерной системе или в отдельных ее частях (примеры см. на 1, 2 и 3 стр. цв. вкл.).

В терминах АСУ система частотного регулирования определяется нами как система устройств автоматики, включающая статический преобразователь (преобразователи) частоты, автономно реализующая автоматизированную систему управления (или функцию управления) технологическим процессом с применением частотного способа изменения скорости электроприводов нагнетателей.

В состав системы частотного регулирования входят:

- ☑ устройства верхнего уровня и/или устройства связи оперативного персонала с программно-техническим комплексом (ПТК) СЧР;
- ☑ устройства нижнего уровня (контроллеры, интеллектуальные реле, устройства связи с объектом управления, источники электропитания каналов приема аналоговых и дискретных сигналов и выходных каналов выдачи управляющих сигналов, датчики регулируемых СЧР параметров и др.);
- ☑ устройства и линии связи, обеспечивающие обмен информацией и командами с другими ПТК и между различными устройствами СЧР;
- ☑ дополнительное оборудование (шкафы для размещения элементов ПТК и клеммных колодок, кроссовые шкафы, устройства связи с внешними подсистемами автоматического управления, интеллектуальными датчиками и исполнительными механизмами объекта управления, местные щиты управления);
- ☑ устройства электропитания ПТК СЧР;
- ☑ базовое и прикладное программное обеспечение;
- ☑ документация;
- ☑ ЗИП.

Помимо преобразователей частоты, **оборудование преобразовательного звена (ОПЗ)** может включать:

- ☑ силовые трансформаторы для согласования напряжения источника электроэнергии, преобразователя и электродвигателя;
- ☑ фильтры на входе и на выходе ПЧ;
- ☑ высоковольтные и низковольтные коммутационные и защитные аппараты силовых цепей СЧР.

При использовании преобразователей частоты с водяным охлаждением СЧР включает также автономную подсистему охлаждения с теплообменниками, насосами, запорно-регулирующей арматурой, датчиками, локальной системой автоматического управления.

В функциональной структуре СЧР могут присутствовать подсистемы:

- ☑ сбора, первичной обработки и распределения информации, получаемой от датчиков, автономных подсистем автоматического управления;
- ☑ представления информации о взаимодействии пользователей с СЧР;
- ☑ дистанционного управления приводом электродвигателей, исполнительных механизмов задвижек, регулирующих органов, высоковольтных выключателей и др.;
- ☑ автоматического регулирования, логического и программного управления, технологических блокировок, защит и защитных блокировок;
- ☑ информационно-вычислительная, реализующая алгоритмы расчетных функций, накопления, усреднения, архивации информации;
- ☑ самоконтроля и самодиагностики.

Таким образом, система частотного регулирования – это «заточенный» для решения конкретной технологической задачи инструмент, собранный непосредственно на объекте по техническим требованиям пользователя, прошедший комплексное опробование в составе технологического объекта управления и реализующий технологические алгоритмы с минимальным участием оперативного персонала.

Преобразователь частоты является важным, но не единственным и не всегда самым дорогим компонентом системы частотного регулирования.

Различие 2. Услуги в составе товарного предложения преобразователей частоты и систем частотного регулирования

Товары производственного назначения всегда продаются в комбинации с услугами.

Ядром товарного предложения ПЧ является собственно изделие – статический преобразователь. В зависимости от номинальной мощ-

ности, напряжения и степени защиты он может быть в модульном или шкафном исполнении. При шкафном исполнении внутри конструктива часто устанавливаются защитные аппараты, фильтры, шунтирующие контакторы и др.

Доля услуг в стандартном предложении преобразователей частоты невелика. Это оформление сертификатов на оборудование, транспортировка, иногда шеф-монтаж и наладка ПЧ на объектах заказчиков. В случае отказа изделия в период гарантийного срока поставщик «бесплатно» (на самом деле стоимость этой услуги учтена в цене преобразователя) может его отремонтировать.

Напротив, в составе товара «система частотного регулирования» доля услуг значительна, а иногда может превышать стоимость материальной продукции.

Это, прежде всего, **технические услуги**:

- обследование объекта автоматизации и разработка общего решения СЧР;
- разработка технологических алгоритмов и специализированного программного обеспечения;
- разработка технической и эксплуатационной документации;
- экспертиза технической документации;
- закупка и поставка оборудования и комплектующих;
- монтаж и/или шеф-монтаж оборудования;
- пуско-наладочные работы;
- обучение персонала пользователя;
- консультации, техническое обслуживание и ремонт;
- работы по модернизации и развитию действующей системы, интеграция СЧР в АСУ ТП и АСДУ.

Наряду с техническими услугами, покупателю оказываются **интегрированные технико-экономические услуги**:

- анализ технической реализуемости и экономической целесообразности проекта, разработка ТЭО;
- разработка целевых программ применения систем частотного регулирования;
- разработка финансового плана проекта;
- обеспечение финансовых гарантий;
- менеджмент проекта, и т. д.

Значительная доля услуг в составе товарного предложения СЧР предполагает совместную работу заказчика и поставщика в период реализации проекта, а зачастую и в течение всего срока полезного использования оборудования. Это стимулирует формирование партнерских отношений и снижает издержки обеих сторон на ведение договорной работы.

В классификации товаров, ориентированной на предложение [1], преобразователи часто-

ты могут быть отнесены к Типу III (рис. 4). Это товарные предложения со значительной долей материальной составляющей, причем товары изготавливаются производителем в большей степени автономно.

Системы частотного регулирования невозможно однозначно отнести ни к одному из четырех полей, так как, являясь комплексными решениями, они выходят за рамки одного поля.

Различие 3. Потребительские функции преобразователей частоты и систем частотного регулирования

В наиболее общем виде эти потребительские функции приведены в таблице 1.

Для реализации потребительских функций преобразователей частоты достаточно включить преобразовательный модуль «в рассечку силового кабеля двигателя» и установить на панели ПЧ параметры в соответствии с рекомендациями Руководства пользователя. Если приводной электродвигатель низковольтный и относительно небольшой мощности, перечисленные действия может выполнить электротехнический персонал любой организации.

Если потребитель желает получить функции, приведенные в правом столбце таблицы, придется пройти путь разработки и ввода в действие системы частотного регулирования.

Различие 4. Группы покупателей и область решаемых покупательских проблем Кто покупает преобразователи частоты?

Если не рассматривать специфические сегменты (ветрогенераторы, испытательные стенды и др.) и перепродавцов в каналах распределения (дистрибьюторов), то покупателей ПЧ можно объединить в три группы (рис. 5):

- **конечные пользователи**, самостоятельно приобретающие преобразователи частоты для электроприводов в составе собственного оборудования, машин, механизмов и применяющие их в процессах производства и/или для решения иных задач. Примером организаций, решающих «иные задачи», являются силовые ведомства.

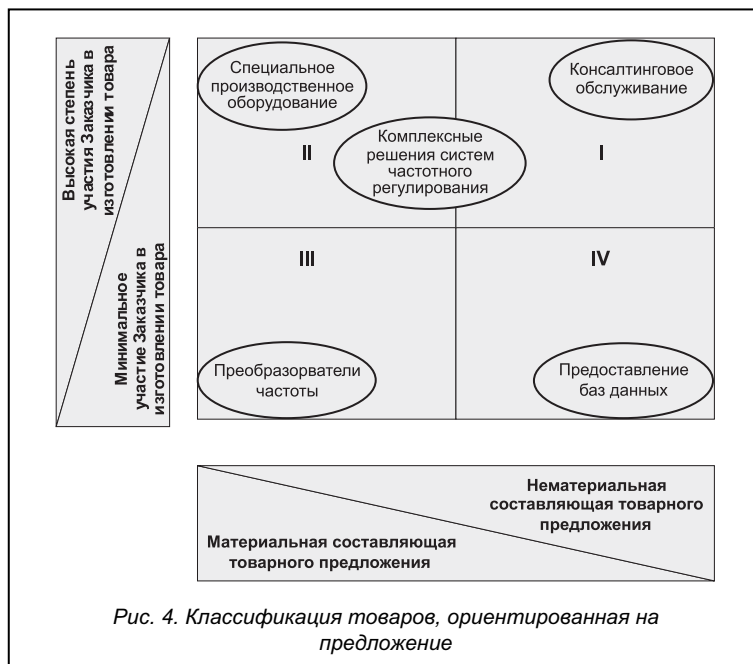


Рис. 4. Классификация товаров, ориентированная на предложение

- **системные интеграторы** – компании, применяющие преобразователи частоты в качестве преобразовательных и управляющих устройств электроприводов в проектах АСУ ТП и АСДУ и продающих материальную продукцию вместе со своими услугами конечному пользователю;
- **ОЕМ (Original Equipment Manufacturers)** – производители оборудования, машин и механизмов, в которых применяются регулируемые электроприводы переменного тока (это могут быть изготовители кранов, лифтов, насосных станций, кондиционеров и др.). Продукция OEM также оказывается в результате у конечного пользователя.

Таблица 1

Потребительские функции	
Преобразователи частоты	Системы частотного регулирования
Плавный разгон и остановка электропривода	Эффективное решение технологических задач (точность, быстродействие, глубина регулирования, кавитационный запас и пр.)
Регулирование скорости электропривода	Снижение удельных затрат электроэнергии при осуществлении технологического процесса
Защита электродвигателя, работающего от преобразователя частоты	Продление ресурса оборудования
Индикация на дисплее параметров ПЧ и сигналов контрольных цепей.	Предотвращение ненормальных и аварийных режимов
	Облегчение работы операторов
	Формирование информации в АСДУ
	Повышение надежности технологической установки

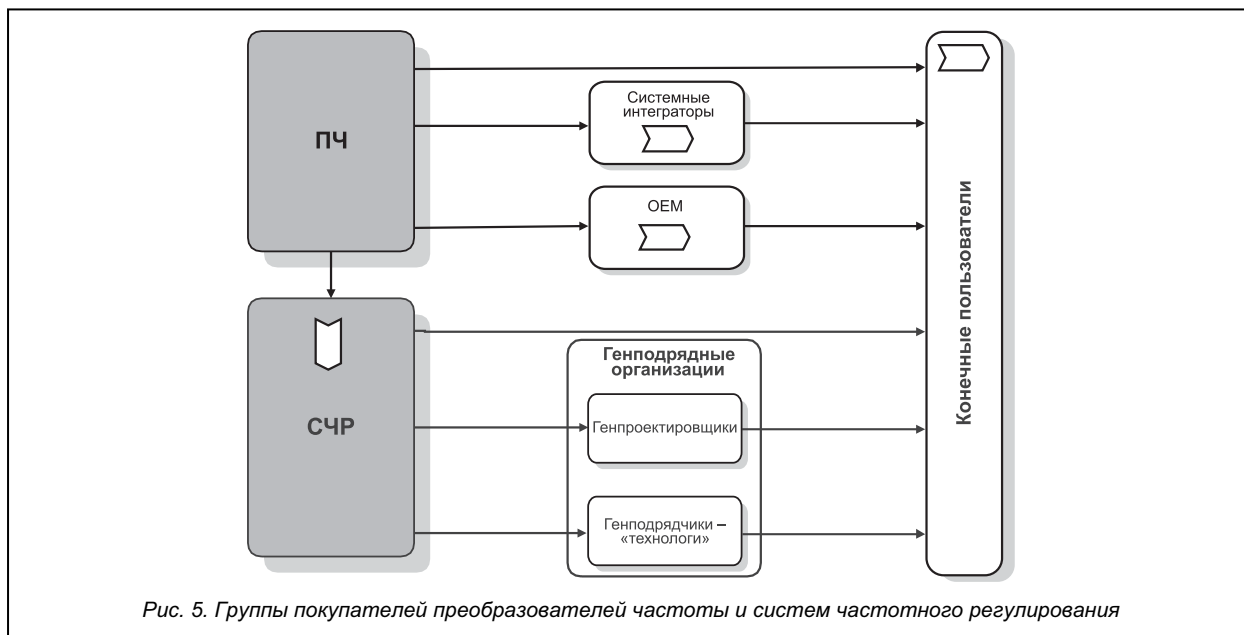


Рис. 5. Группы покупателей преобразователей частоты и систем частотного регулирования

Каждый покупатель преобразователя частоты в зависимости от вида своей производственной цепочки «добавляет ценность» для получения полезного эффекта от приобретения этого товара при решении своих проблем. На рисунке 5 эта «добавленная ценность» отмечена символом \triangleright .

Кто покупает системы частотного регулирования?

Опыт Инженерного центра «АРТ» показывает, что сегодня это две сопоставимые по объёмам продаж группы (рис. 5).

«Группа 1» – конечные пользователи – организации, применяющие энергоёмкие инженерные системы для производства собственной продукции и/или обеспечения жизнедеятельности.

В группу конечных пользователей СЧР входят:

- предприятия жилищно-коммунального хозяйства;
- территориальные генерирующие компании;
- промышленные предприятия;
- силовые ведомства, эксплуатирующие специальные объекты и др.

Для большинства конечных пользователей СЧР – это возможность инвестировать в собственную инженерную инфраструктуру, в течение 2–4 лет вернуть вложенные средства за счет снижения издержек на производство собственной продукции, и в течение дальнейших 10–12 лет получать дополнительную прибыль (или снижать плановые затраты, если речь идет о силовых ведомствах или некоммерческих организациях).

У конечных пользователей есть две заботы:

- минимизация затрат на создание СЧР и ее

обслуживание в течение всего срока полезного использования;

- максимизация полезного эффекта от применения СЧР и продление срока полезного использования.

Конечных пользователей интересует:

- обоснование инвестиций и подготовка схем финансирования проекта;
- менеджмент проекта строительства/реконструкции;
- ввод в эксплуатацию без остановки технологического процесса;
- обеспечение технологических нагрузок и качества параметров сред;
- минимизация удельных затрат электроэнергии в нормальных режимах эксплуатации и потерь других видов ресурсов;
- минимизация ущерба от аварий;
- минимизация затрат на оперативное управление, ППО и ремонт оборудования и сетей;
- облегчение работы операторов и диспетчеров;
- возможность модернизации СЧР в случае изменения состава оборудования и/или технологических нагрузок.

«Группа 2» – подрядные организации, участвующие в создании и/или реконструкции инженерных систем для последующей передачи их в эксплуатацию конечным пользователям. Это могут быть:

- генподрядные организации;
- проектные организации;
- строительно-монтажные организации, и др.

У подрядных организаций после заключения договоров подряда возникает законное стремление – уменьшить собственные издержки.

Подрядные организации интересуют:

- выбор рационального решения по применению технологии частотного регулирования, минимизирующего общие затраты на комплекс работ генподрядчика;
- обеспечение документацией на СЧР и «гладкое» прохождение согласований;
- обеспечение комплектных поставок оборудования СЧР в согласованные сроки;
- менеджмент строительно-монтажных и пуско-наладочных работ.

На первый взгляд сомнительно, что решения по применению СЧР могут уменьшить затраты генподрядчика на комплекс работ. Однако приведем лишь два примера.

1. Увеличение расчетной циркуляции сетевой воды на котельной города С. потребовало замены сетевых насосов. При пуске более мощных электродвигателей стали возникать провалы напряжения, что послужило поводом для начала работ по замене трансформаторов на подстанции и прокладке дополнительной кабельной линии.

После ввода в эксплуатацию СЧР электрические нагрузки снизились и провалы напряжения прекратились. Решение о замене трансформаторов было отменено.

2. Генподрядчик строительства котельной в городе М. подписал контракт с «твердой ценой» и планировал в соответствии с общим заданием применить на общекотельных системах преобразователи частоты в качестве исполнительных устройств. Электроснабжение, электрооборудование, КИПиА, диспетчеризация решались соответствующими разделами проекта.

После анализа предложения субподрядчика на поставку СЧР общекотельного оборудования оказалось, что, несмотря на большую стоимость СЧР по сравнению с ПЧ, общие затраты уменьшились. Часть коммутационной аппаратуры «ушла» в низковольтные комплектные устройства (НКУ) СЧР, причём ее габариты (номинальные токи) снизились. Уменьшились сечения части силовых кабелей. Исчезла необходимость в большом количестве датчиков и связанных с ними контрольных кабелей и конструктивов (большой объем информации передавался из СЧР по оптоволокну). Ликвидировались многочисленные посты управления с ключами и лампочками, поскольку в составе СЧР имелись графические интерфейсы. Существенно сократилась продолжительность строительно-монтажных (СМР) и пуско-наладочных работ (ПНР), поскольку все НКУ СЧР поставлялись с программным обеспечением, отлаженным на макетах.

Для обеих групп покупателей важно, что система частотного регулирования может приобретаться по частям, например:

- проектно-сметная документация заказывается конечным пользователем отдельно или приобретается Генпроектировщиком для включения в состав своего проекта;
- материальная продукция и программное обеспечение СЧР оплачиваются непосредственно конечным пользователем либо поставляются через генподрядную или строительно-монтажную организацию;
- услуги по выполнению пуско-наладочных работ и обучению эксплуатационного персонала приобретаются непосредственно конечным пользователем.

Независимо от пути, по которому части СЧР поступают к конечному пользователю, сохраняется целостность товарного предложения и весь набор «потребительских ценностей».

Различие 5. Стандартизация и индивидуализация

Полная индивидуализация и полная стандартизация являются предельными случаями диапазона решений товарной политики и реализуются достаточно редко. Стандартные товары всегда являются усредненными решениями проблем для определенного круга потребителей.

В этом плане преобразователи частоты отражают подход, когда стандартизируются вещественные товары, в то время как услуги оказываются в соответствии с требованиями заказчика (это могут быть оформление сертификатов на оборудование, транспортировка, шеф-монтаж и наладка ПЧ, «русификация» текстовых сообщений на дисплее и пр.).

Системы частотного регулирования строятся на комбинации стандартных технических средств и индивидуальных решений по их состыковке. Некоторые основные услуги стандартизируются, но всегда осуществляется адаптация к конкретному заказчику за счет индивидуализации комплектующих и дополнительных услуг.

Различие 6. Политика качества

Качество применительно к продукции производственного назначения – это, как правило, интегральная характеристика, которая складывается из совокупности качеств:

- **функциональное** качество (выполнение ожидаемых потребителем функций в требуемом объеме);
- **эксплуатационное** качество (характеризует период времени, в течение которого объект инвестиций в состоянии выполнять требуемые от него функции);



- качество **интеграции** (возможность интеграции объекта инвестиций в производственный процесс заказчика);
- качество **дизайна**, и др.

Качество преобразователей частоты, естественно, определяется качеством принятых при их разработке схемотехнических решений, компонентов, программного обеспечения и др. Вместе с тем, огромное влияние на качество оказывает также стратегия и организационная культура изготовившей его компании.

Сегодня достаточно просто организовать «отверточную сборку» низковольтных ПЧ мощностью до 315–400 кВт. Схемотехнические решения таких преобразователей отработаны за десятилетия, а электронные компоненты и готовые преобразовательные модули вполне доступны. Реальные сложности начинаются при увеличении мощности, когда требуется обеспечить параллельную работу большого количества IGBT и теплоотвод. Качество компонентов и их входного тестирования, сборки, выходного тестирования, документации, сервисной службы, обеспечение поддержки выпущенных изделий в течение всего срока полезного использования – вот аспекты, которые конечный пользователь оценивает лишь после совершения покупки.

Много «труб от граммофонов» можно еще увидеть на котельных и насосных станциях по городам и весям России!

Для систем частотного регулирования, также как и для ПЧ, важно **техническое качество** («что поставляется»). Оно определяется качеством и техническими характеристиками комп-

лекующих, качеством инженерных решений, качеством монтажа и пр.

Вместе с тем, большое значение имеет **«как это поставляется»**, а именно:

- безопасность (минимизация риска для заказчика);
- надежность (исполнение «точно в срок»);
- согласованность и компетентность (взаимодействие со всеми заинтересованными сторонами для наилучшего достижения конечного результата);
- доступность (легкость установления контактов, удобное время оказания услуг);
- взаимопонимание (способность войти в положение представителей заказчика, безусловный учёт их потребностей) и др.

Различие 7. Структура деловых отношений между заказчиком и поставщиком

Важными показателями деловых отношений являются степень интеграции заказчика в процесс производства и интенсивность деловых связей между заказчиком и поставщиком.

Для преобразователей частоты степень вовлечения заказчика в процесс производства, как правило, минимальна.

При производстве систем частотного регулирования, напротив, заказчик всегда принимает непосредственное участие. По меньшей мере, он выступает как поставщик информации о технических требованиях, характеристиках производственного процесса на его предприятии и как получатель услуг (при обучении и проведении комплексного опробования). В ряде случаев заказчик выполняет часть работ по монтажу оборудования и др.

Интенсивность деловых связей при поставках преобразователей частоты может быть достаточно сильной (особенно если заказчиком является предприятие-ОЕМ или системный интегратор), но обычно эти связи не выходят за пределы конкретной сделки.

При производстве систем частотного регулирования деловые связи, напротив, приобретают долговременный характер. Построение таких тесных деловых отношений способствует укреплению бизнеса поставщика и экономит ему значительные расходы на привлечение заказчиков. Заказчику, в свою очередь, устойчивые деловые связи обеспечивают экономию в расходах на информацию и лучшую согласованность поставляемых систем с особенностями его производственного процесса.

Поставки преобразователей частоты часто осуществляются в результате **спот-сделок** (рис. 6). Эти сделки заключаются по имеющимся в наличии товарам и предусматривают их немедленную оплату и поставку.

Сделки по поставкам СЧР характеризуются большей частью как **производство товаров совместно с заказчиком**. Системы изготавливаются в соответствии с особыми требованиями заказчика, который нередко привлекается к проектированию, разработке технологических алгоритмов, эксплуатационной документации и др.

Реализация проектов СЧР обоснована в случае уверенности заказчика (инвестора) в обеспечении работоспособности оборудования в течение 10–15 лет. В этой связи долгосрочное сотрудничество выгодно как предприятию, поставляющему системы частотного регулирования, так и предприятиям, их покупающим и эксплуатирующим.

Таким образом, преобразователи частоты и системы частотного регулирования – очень разные товары. Получить представление о преобразователях частоты можно, просмотрев фирменные Руководства пользователя и/или зайдя на сайты компаний, поставляющих это оборудование.

Читатели, желающие узнать подробнее о системах частотного регулирования, могут продолжить знакомство с настоящим бюллетенем.

Литература

1. Шнайдер Д. И. Г. Технологический маркетинг. – М.: Янус-К, 2003. – 478 с.