



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

*Публикации специалистов
Инженерного центра «АРТ»*

Преобразователь частоты – дань моде и источник проблем

*Зобов Игорь Борисович, к.т.н.,
Олейник Виктор Анатольевич*

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»

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – ДАНЬ МОДЕ И ИСТОЧНИК ПРОБЛЕМ¹

Зобов Игорь Борисович, к. т. н., Олейник Виктор Анатольевич

Из высказываний специалистов и представителей городских администраций:

«В нашем городе на “Водоканале” удельный расход электроэнергии все время растет, а в “Тепловых сетях” снижается. И знаете почему? Они на каждой котельной преобразователи частоты поставили» (Первый заместитель мэра – главы администрации города П.).

«У нас на водозаборах тоже ЧРЭПы за два года окупались» (Главный инженер МП «В...водоканал»).

«Экономия электроэнергии – это не все. Раньше каждые сутки до 100 прорывов трубопроводов и утечек по городу было. А как частотники на подкачках запустили, стало 10–15» (Главный энергетик ГУП «Водоканал С...»).

«Точно. У нас в ТЭКе частотные регуляторы на 70 ЦТП работают. За все время ни один двигатель не вышел из строя» (Главный энергетик Н-ского филиала ГУП «ТЭК С...»).

«Это у вас. А у нас наоборот. За два года на двигателе 630 кВт с ЧРП уже три раза подшипники меняли» (Старший мастер филиала «Л...» ГУП «Водоканал С...»).

«Подшипники – это ерунда. У нас на котельной как напряжение пропадет, так после АВР частотник на подпитке давление забрасывает и сети рвет» (Начальник участка МП «Тепловые сети» города Г.).

«А у нас вообще РЭП мощностью 1 МВт второй год запустить не могут. На холостом ходу работает, а как нагрузку даем, двигатель опрокидывается. И трансформатор горячей как печка» (Технический директор ОАО «К...»).

Конечно, уважаемый читатель, данная беседа вымышленная. Однако персонажи реальные, и, несмотря на различия в терминологии (РЭП, ЧРЭП, ЧРП, ПЧ), «говорят» они по существу об одном и том же: об опыте применения статических преобразователей частоты (ПЧ) в технологических установках и инженерных системах. Этот опыт (если иметь в виду современные ПЧ на IGBT модулях с микропроцессорным управлением) в России насчитывает примерно 10 лет. Многие сегодня мы с вами уже знаем и умеем, но еще больше предстоит узнать и научиться эффективно использовать.

Что такое современный преобразователь частоты?

Электрик: «Это устройство силовой электроники, преобразующее электроэнергию промышленной частоты в электроэнергию переменной частоты и напряжения».

Специалист по КИПиА: «Это управляющее устройство электропривода».

Специалист по АСУ: «Это исполнительное устройство полевого уровня».

Технолог (неуверенно): «Блок какой-то».

Для чего нужно это чудо инженерной мысли?

Электрик: «Энергию экономит».

Специалист по КИПиА: «Давление (расход, температуру, разрежение, влажность...) поддерживает».

Специалист по АСУ: «Соединиться по интерфейсу можно».

Технолог: «...Чтобы лучше технологией управлять».

А как его правильно использовать?

Электрик: «Главное – не подать питание на выход. Сразу сгорит».

Специалист по КИПиА: «Главное – правильно настроить ПИД-регулятор».

Специалист по АСУ: «Главное – фильтры поставить, чтобы помеха не шла».

Технолог: «Главное – операторов правильно научить».

А какие проблемы могут появиться от преобразователей частоты?

Электрик: «Если много ПЧ включить – сеть могут высшими гармониками пачкать».

Специалист по КИПиА: «Трудно параллельную работу настроить».

Специалист по АСУ: «Он “Мастером” плохо работает».

Технолог: «... Мне бы ваши проблемы!».

Такой обмен суждениями иллюстрирует следующее.

1. Преобразователи частоты в инженерных системах применяются для решения разнообразных, но абсолютно конкретных технологических задач. ПЧ не являются «готовыми к употреблению» изделиями и никогда не используются «сами по себе».

¹ Статья публикуется во второй редакции. Впервые статья под этим названием была опубликована: Теплоэнергоэффективные технологии. – 2003. – № 2. – С. 5–8.

Они имеют ценность как компоненты автоматизированных систем (АС).

2. Применение преобразователей частоты требует профессиональных знаний в области электроснабжения, электропривода, силовой преобразовательной техники, автоматизации, вычислительной техники.
3. Конечными пользователями преобразователей частоты являются специалисты, отвечающие за работу технологического процесса, обеспечиваемого инженерной системой. Эти специалисты часто не обладают знаниями по п. 2.
4. Использование преобразователей частоты на энергетических объектах предполагает включение их в некую автоматизированную систему, обеспечивающую управление технологическим оборудованием в нормальных, переходных и предаварийных условиях, а также защиту или остановку при угрозе аварии.
5. Операторский интерфейс данной АС должен быть ориентирован на пользователя, имеющего профессиональные знания для управления конкретным технологическим процессом.
6. В создании и эксплуатации АС может участвовать большое количество специалистов, но в итоге «один на один» с автоматизированной системой остается конечный пользователь.

АС в организациях и предприятиях в общем случае создают по стадиям (этапам), регламентируемым ГОСТ 34.601. Ошибки при создании АС иногда проявляются лишь в процессе эксплуатации, но причины их возникновения можно проследить на любой стадии.

Стадия «Формирование требований к АС»

Целью выполнения работ на стадии является обоснование целесообразности создания АС и определение исходных требований.

Заказчик (предприятие ЖКХ) поручил выигравшей тендер электротехнической фирме автоматизировать крупную насосную станцию. Для реализации частотного регулирования высоковольтных электродвигателей была согласована схема с низковольтным преобразователем частоты, понижающим и повышающим трансформатором. Выполнен проект, закуплено оборудование ведущих Европейских производителей, качественно выполнены монтажные работы, загружено специализированное программное обеспечение. Система заработала!

Однако выяснилось, что насосные агрегаты с преобразователями частоты не могут развить номинальный напор.

«Виноватым» оказалось напряжение.

Система была спроектирована из расчета напряжения питания 6,3 кВ, в то время как на насосную станцию приходило не более 6,0 кВ. Поскольку напряжение на выходе двухзвенного ПЧ всегда чуть меньше входного, а на синусоидальном фильтре падает еще 5–7%, напряжение на клеммах двигателя оказывалось пониженным. При номинальной технологической нагрузке «недомагнитичная» асинхронная машина перегружалась по току.

На вопрос подрядчика: «Почему вы не сказали, что напряжение на станции низкое?» заказчик ответил: «А вы не спрашивали».

Стадия «Техническое задание»

Целью выполнения работ на стадии является уточнение и детализация требований пользователя к системе, разработка требований к составу и содержанию работ по созданию АС, порядку приемки системы, к документации, к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие.

Заказчик (предприятие, выпускающее изделия из искусственной кожи) решил модернизировать старый резиномеситель с целью регулирования его производительности. Приводной синхронный двигатель (630 кВт, 6кВ) заменили своими силами на асинхронный (800 кВт, 6 кВ). «Хозспособом» установили понижающий и повышающий трансформаторы с солидным запасом по мощности. Заказали преобразователь частоты (1 МВт, 0,4 кВ) отечественному производителю.

Техническое задание на систему управления резиномесителем не разрабатывалось. Единственным документом, содержащим технические требования, оказалась Спецификация на поставляемое оборудование (т. е. преобразователь частоты).

Оборудование было поставлено, выполнены монтажные работы, настроен преобразователь. Дело сделано! Преобразователь заработал!

И здесь выяснилось, что при подаче тяжелых смесей ПЧ отключается защитой вследствие опрокидывания двигателя.

Разгневанный заказчик требует, чтобы поставщик наладил работу резиномесителя.

Поставщик возражает, что преобразователь обеспечил указанный в Спецификации диапазон регулирования скорости, а в том, что ПЧ отключается защитой, виноват двигатель.

Дальше – Арбитражный суд.

Стадии «Технический проект», «Рабочая документация»

Крупное промышленное предприятие запланировало инвестиции в реконструкцию повысительной насосной станции с применением частотно-регулируемого привода насосных агрегатов.

Согласованное со специалистами цеха водоснабжения решение предполагало установку высоковольтных систем частотного регулирования (СЧР) в существующих электротехнических помещениях. Поскольку в РУ-6 кВ имелись свободные ячейки, модернизация распреустройства не требовалась.

На основании материалов ТЭО был выпущен Технический проект и составлены предварительные сметы. Цена оказалась приемлемой, а инвестиционные показатели достаточно высокими. В результате получено задание на Рабочую документацию (РД), работа закипела.

В ходе проектирования заказчик «слегка» поменял задание. Настоял на установке преобразователей и трансформаторов в насосном зале и запретил использовать резервные ячейки РУ-6 кВ.

Стоимость оборудования при этом практически не изменилась, но объем общестроительных и строительно-монтажных работ оказался таким, что общая сметная стоимость выросла вдвое.

На такую «модернизацию» денег уже не хватило.

Стадия «Ввод в действие»

«Подготовка объекта автоматизации к вводу АС в действие»

Это даже не пример, а «крик души» наладчиков Инженерного центра «АРТ».

Преобразователь частоты легко реализует функцию автоматического ввода резервного насосного агрегата (АВР). Единственное, что для этого требуется от насосной установки – исправные обратные клапаны. В этом случае при плановой или аварийной остановке основного насоса его обратный клапан закрывается, преобразователь плавно запускает резервный насос, обратный клапан которого открывается. Все счастливы. Вот только обратные клапаны при пуско-наладке редко бывают исправными.

«Подготовка персонала»

Преобразователь частоты позволяет контролировать сопротивление изоляции обмотки статора электродвигателя. Реализация этой функции при работе системы частотного регулирования



Фото 1. Внешний вид щита с преобразователями частоты после «выгорания» вводного автоматического выключателя

сетевых насосов на котельной города П. могла предотвратить развитие аварийной ситуации, если бы не вмешался оператор котельной. Система выполнена на базе двух преобразователей и управляет тремя сетевыми насосами. У оператора имеется графическая панель, на которой отображается необходимая информация, а пульт местного управления сетевыми насосами находится в машинном зале. В один из зимних дней после выполнения работ в ГРЩ была произведена попытка изменения состава работающих сетевых насосов (в работе находилось два агрегата). Система частотного регулирования определила, что сопротивление изоляции запускаемого двигателя ниже нормы, выдала сообщение об этом и заблокировала автоматическое включение насоса. Вместо выполнения инструкции по эксплуатации, оператор перевел агрегат в режим местного управления и включил его в работу напрямую на питающую сеть. В результате короткого замыкания в аварийном электродвигателе и неселективного действия релейной защиты в ГРЩ была обесточена котельная.

«Комплектация АС программными и техническими средствами»

Предприятие «Водоканал» города С. купило преобразователи частоты и передало генпод-

рядной организации для комплектования щитов управления насосными агрегатами.

В составе щитов подрядчик применил автоматические выключатели «подешевле». В результате непродолжительной работы несколько щитов приняли вид, показанный на фото 1.

«Строительно-монтажные работы»

На предприятие «Водоканал» города Н. был продан насосный агрегат с электродвигателем 630 кВт, 690 В и преобразователем частоты. Оборудование, скомплектованное на заводе, устанавливала электромонтажная организация.

Поскольку токи между преобразователем и двигателем предполагались значительные, монтажники применили известный приём. Подключили к каждой фазе по трёхжильному кабелю, соединив его жилы вместе и заземлив оболочки кабелей с обоих концов.

Каково же было их удивление, когда при включении преобразователя кабели «задымались», а заземляющие проводники оплавилась.

Не прочитав руководство пользователя, трудно догадаться, что выходное напряжение ПЧ формируется широтно-импульсной модуляцией с несущей частотой 3,6 кГц. Токи высокой частоты, замыкаясь через оболочки на землю, вызывают интенсивный нагрев токопроводящих частей и могут привести к отказу преобразователя.

Такая «мелочь» как шеф-монтаж или авторский надзор заказчику показалась лишней.

«Пуско-наладочные работы»

На предприятии «Тепловые сети» города Г. установлен преобразователь частоты на насос-

ном агрегате группы подпитки. В установившихся режимах он работает хорошо и обеспечивает экономию электроэнергии. Однако при прекращении электроснабжения котельной (что, к сожалению, случается) и его восстановлении преобразователь ведет себя следующим образом:

- автоматически запускается;
- увеличивает в течение нескольких секунд частоту до 50 Гц;
- плавно уменьшает частоту и выходит на установившийся режим.

Для преобразователя это обычное дело, но «забросы» давления в обратной магистрали неоднократно приводили к порывам трубопроводов и отопительных приборов у потребителей.

Такого рода неприятностей можно избежать при правильном проведении пуско-наладочных работ.

Стадия «Выполнение работ в соответствии с гарантийными обязательствами»

В период опытной эксплуатации системы частотного регулирования на отопительной котельной заказчик указал специалистам Инженерного центра «АРТ» на то, что реальная экономия электроэнергии существенно меньше обещанной.

«Честь мундира» разработчиков СЧР спасла сервисная функция, предусмотренная в программируемом логическом контроллере. Эта функция позволяла фиксировать действия операторов с органами управления. Архив данных за месяц показал, что с определенной

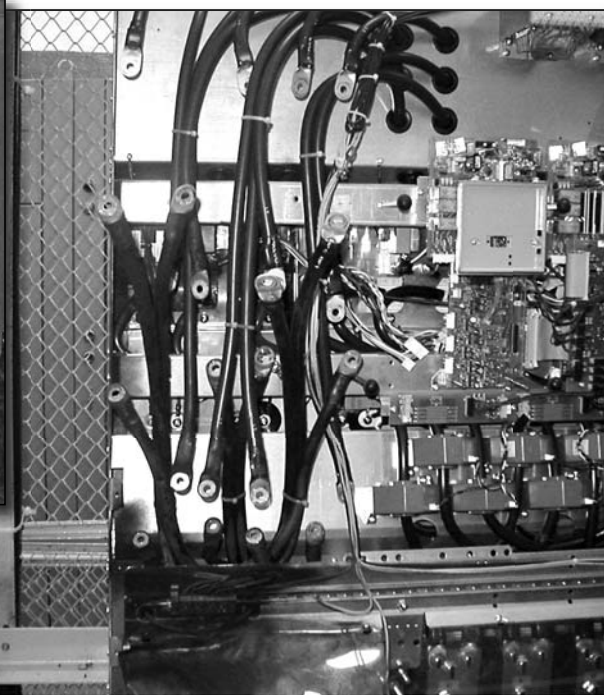
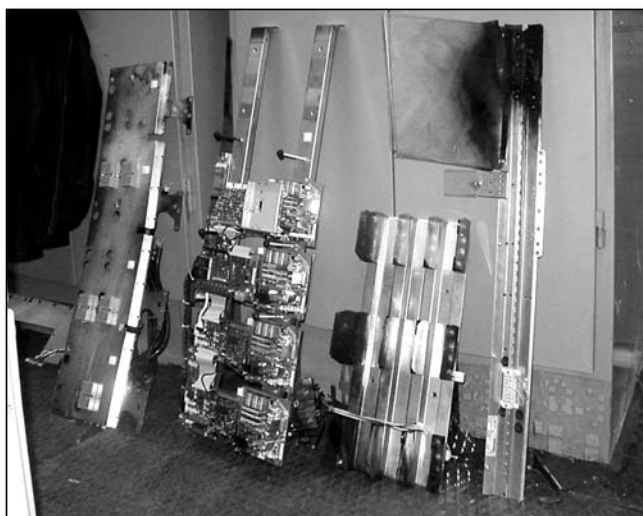


Фото 2. Преобразователь частоты (630 кВт, 690 В) во время ремонта; «исправными» остались только некоторые конденсаторы

периодичностью система переводилась в режим местного управления, а преобразователи частоты отключались. В дальнейшем выяснилось, что это делала одна и та же дежурная смена, персонал которой отсутствовал при проведении обучения.

«Послегарантийное обслуживание»

Как известно, за послегарантийное обслуживание надо платить либо выполнять его самостоятельно.

Предприятие «Водоканал» города С. купило преобразователь частоты 630 кВт, 690 В и установило его на насосной станции. Гарантия предоставлялась на 2 года. По разным причинам больше полутора лет ПЧ не эксплуатировался, но когда потребовалось, нормально запустился и работал. Заказчик посчитал, что поскольку из двух «гарантированных» лет большую часть времени оборудование не функционировало, «послегарантийное обслуживание» потребуется не скоро. По иронии судьбы, авария случилась на второй месяц после окончания гарантийного срока. За время хранения преобразователя на его шинах звена постоянного тока скопилось грязь. Высокая влажность на станции завершила «подготовку». Дуга перекрыла изоляцию; запчасти и ремонт обошлись в 800 тысяч рублей (фото 2).

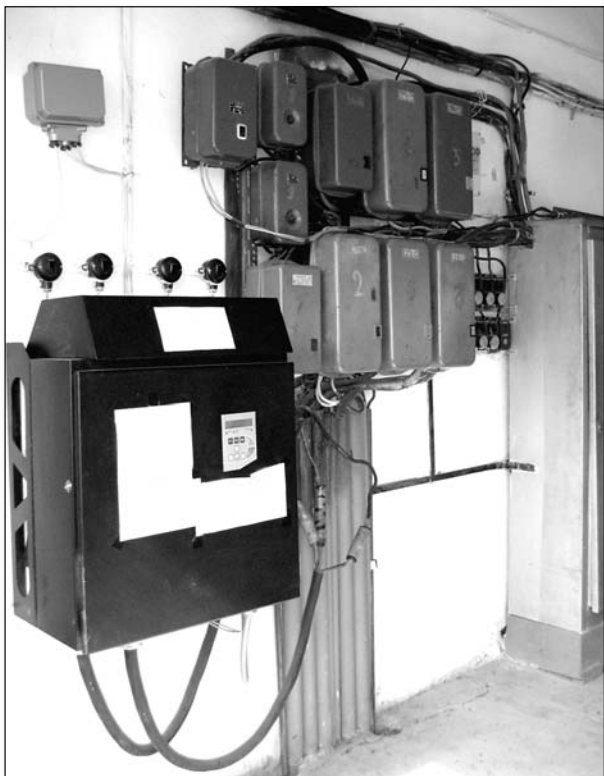


Фото 3. Преобразователь частоты, включенный «в рассечку кабеля двигателя»

Плохо, если на какой-либо стадии создания автоматизированной системы допускается ошибка. Однако нередко встречаются ситуации, когда большинство стадий вообще пропускаются, а требования ГОСТа и здравого смысла «упрощаются» до покупки преобразовательного модуля и подключения его «в рассечку кабеля двигателя».

На фото 3 показана «система управления» с одним преобразователем частоты, работающим на два электродвигателя. При необходимости перейти с основного насосного агрегата на резервный электрик останавливает ПЧ, разматывает изоляцию, отсоединяет кабель основного агрегата от ПЧ, подсоединяет кабель резервного агрегата к ПЧ, заматывает изоляцию, запускает ПЧ.

Не улыбайтесь, читатель. Нам приходилось встречать аналогичные системы с электродвигателями на напряжение 6 кВ!

Не всегда заказчик имеет время и желание вникать в тонкости производства работ. В этом случае оказывается логичным поручить всё, включая менеджмент проекта, специализированной организации.

Такая компания выполнит технико-экономическое обоснование инвестиций, разработает и согласует с заказчиком общее техническое задание, выполнит на его основе частные ТЗ на отдельные подсистемы и закажет их субподрядчикам, закупит надежное оборудование и специализированное программное обеспечение, обеспечит грамотный монтаж и испытания, введет аппаратно-программный комплекс в эксплуатацию и организует его обслуживание. В процессе работы над АС у заказчика и подрядчика сложатся партнерские отношения, которые сохранятся на весь срок полезного использования системы. Прямо идиллия. Но как выбрать «правильного» партнера?

Очень просто. Надо провести тендер!

И вот руководитель высокого ранга распоряжается подготовить целевую комплексную программу внедрения частотного регулирования на энергетических объектах области. Скажем, миллионов на 50.

Специалисты бодро принимают за работу и выезжают на обследования.

Выявляются объекты, на которых частотное регулирование технологических агрегатов сулит наибольший эффект.

Разрабатываются общие технические решения по каждой системе и оценивается стоимость реконструкции.

Подготавливаются и согласовываются с руководителями соответствующих эксплуатационных подразделений технические задания.

Вся продукция инженерной деятельности передается в Специальный Комитет, отвечающий за подготовку тендера. Всё. Дальше техническим специалистам хода нет.

Идет напряженная «внутренняя работа» в Комитете.

Наконец, рождается комплект тендерных документов, содержащий кроме всего прочего следующее положение:

*«...Критерии оценки заявок: **цена контракта, срок выполнения работ, срок предоставления гарантии качества работ.***

*Порядок оценки и сопоставление заявок заключается в следующем. Первоначально проводится сравнительная оценка заявок на участие в конкурсе с целью определения **наименьшей цены** контракта. В случае если несколько участников заявили одинаковую цену, то их конкурсные предложения оценивают и сопоставляют по остальным критериям, указанным в п. 1, причем в порядке, определяемом порядком перечисления этих критериев в данном пункте...».*

«Позвольте, а где же требование соответствия техническому заданию?» – пытаются возмущаться «технари».

«Для нас главное – сэкономить бюджет-

ные средства,» – отвечают из Специального Комитета.

В результате торгов выигрывает претендент, назначивший цену 500 тыс. руб., в то время как техническими специалистами стоимость реконструкции оценивалась в 2 млн. руб. Догадаетесь, что получит заказчик в результате такого «инвестиционного проекта»?

Мы уже дважды писали в специальных выпусках настоящего бюллетеня (в 1999 и 2003 гг.) об опыте создания и эксплуатации автоматизированных систем на базе статических преобразователей частоты. Сегодня положение дел определяется двумя основными тенденциями:

- заказчики и подрядчики, реализующие на систематической основе проекты с применением частотно-регулируемого электропривода, накапливают опыт и совершают все меньше ошибок;
- на растущий рынок выходят новые заказчики и подрядчики, совершающие свои первые ошибки.

Таким образом, несмотря на 10-летний «стаж» работы в России, преобразователь частоты по-прежнему для многих остается **данью моде и источником проблем.**