

ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ АГРЕГАТОВ И УСТАНОВОК. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛА СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

Радимов С.Н., руководитель авторизованного учебно-консультационного центра по преобразовательной технике ШЭ-У, эксперт Одесского регионального центра энергосбережения и энергоменеджмента.

Известно, что удельный расход энергии, приходящейся на единицу валового продукта в Украине, в несколько раз выше, чем в ведущих европейских странах, таких как Германия или Франция. В связи с тенденцией существенного повышения стоимости энергоносителей, особенно явно проявившейся во время переговоров о поставках газа, в Украине наблюдается изменение отношения к вопросам оптимизации потребления энергоресурсов. Появилась надежда, что проблемы энергосбережения перестанут быть только предметом обсуждений на конференциях, симпозиумах, совещаниях различного уровня и перейдут к этапу практической реализации.

На промышленных предприятиях и в коммунальном хозяйстве основные механизмы и агрегаты оснащены электроприводом, главная функция которого состоит в преобразовании электрической энергии в энергию механическую. На долю электропривода приходится до 65 % электроэнергии, потребляемой промышленностью. Невольно напрашивается вопрос - разумно ли расходуется энергия в установках с электроприводом?

Даже без глубокого анализа можно ответить вполне определенно - далеко не всегда.

Наиболее высоким потенциалом энергосбережения, ввиду продолжительного режима работы и массового применения, обладают производственные механизмы и агрегаты, работающие в продолжительном режиме с изменяющейся производительностью. Они используются практически во всех отраслях промышленного и сельскохозяйственного производства, коммунальных предприятиях. К ним относятся:

- ☐ насосы;
- ☐ дымососы и вентиляторы котельных установок;
- ☐ вентиляторы градирен;
- ☐ поршневые компрессоры.

подавляющее большинство перечисленных механизмов и агрегатов оснащено асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Простота их конструкции и сравнительно невысокая стоимость сочетаются с низкими эксплуатационными показателями, такими как невозможность регулирования скорости при питании двигателя непосредственно от сети и потребление из сети не только активной, но и реактивной мощности. К существенным недостаткам асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором относится также большой пусковой ток, превышающий в 6 -7 раз номинальное значение тока статора.

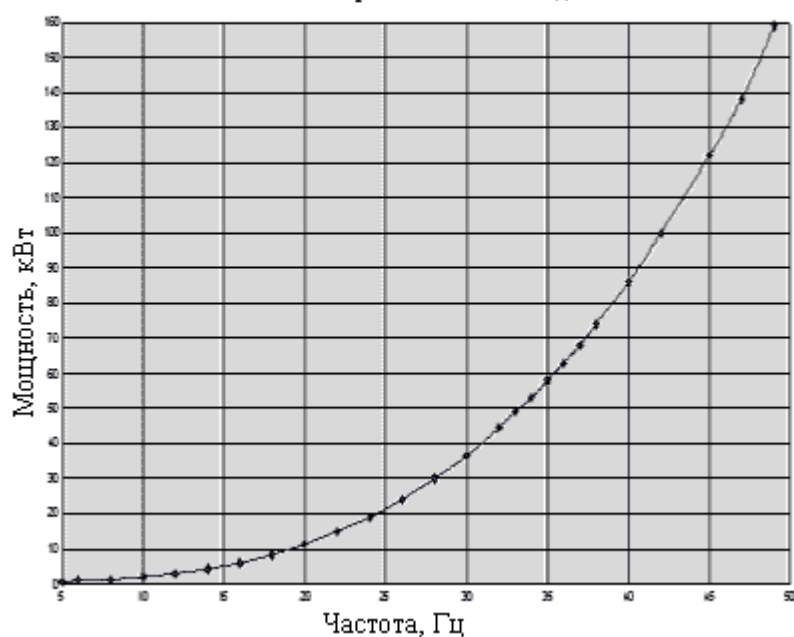
Такой электропривод, не обладая способностью изменять частоту вращения двигателя, питающегося непосредственно от сети, не может воздействовать на поток электрической энергии, которая преобразуется в энергию механическую и передается технологическому агрегату. Поэтому управление производительностью механизмов и агрегатов приходится выполнять при помощи различных приспособлений, создающих препятствия потоку механической энергии и вызывающих дополнительные потери на его пути - в виде задвижек, направляющих аппаратов, коробок передач, а также путем применения байпасных схем.

Недостатки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором устраняются при его использовании в составе регулируемого привода совместно с преобразователем частоты (ПЧ). Примерно 12-15 лет назад прогресс в силовой полупроводниковой технике позволил создать новый тип силовых транзисторов, способных коммутировать токи в сотни ампер при напряжениях до 3 киловольт. На их основе ведущие электротехнические фирмы освоили и

непрерывно совершенствуют производство надежных ПЧ в широком диапазоне мощностей. Преобразователи частоты позволяют изменять в широких пределах частоту вращения асинхронных двигателей (последние поколения ПЧ позволяют управлять и синхронными двигателями) и, благодаря этому, регулировать производительность приводимых ими механизмов и агрегатов. Так как в них регулируется поток электрической энергии, то достигается энергосбережение и одновременно продлевается рабочий ресурс оборудования; при этом устраняется полностью или частично необходимость в механических регулирующих устройствах. Такое решение универсально и позволяет существенно снизить расход энергии в различных отраслях промышленного производства: химической, нефтехимической, металлургической, машиностроительной, пищевой, предприятиях транспорта - морских и речных портах, судах, а также коммунальных системах теплоснабжения, водоснабжения и канализации.

Наибольший эффект энергосбережения достигается в электроприводе центробежных механизмов. Для этого класса механизмов мощность и энергия, потребляемая электроприводом, пропорциональны частоте вращения в третьей степени. В качестве иллюстрации этого известного свойства центробежных механизмов на рис. 1 показана экспериментально снятая зависимость изменения мощности, потребляемой из сети приводом насоса типа Д500-65, в функции частоты при питании двигателя от ПЧ.

Рис. 1.
Зависимость потребляемой мощности двигателем насоса Д 500-65
от частоты напряжения на выходе ПЧ

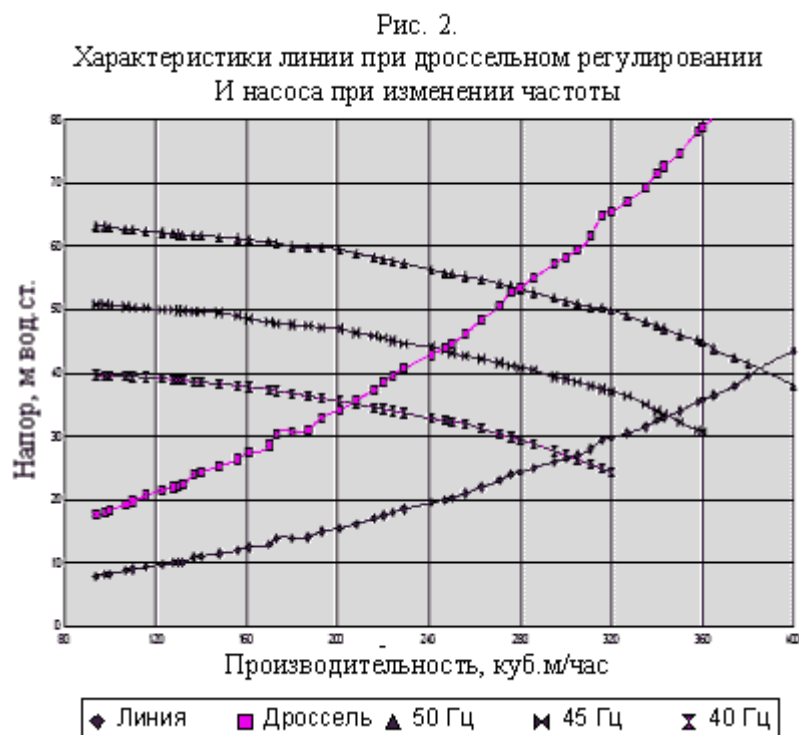


Отсюда следует, что если в процессе управления производительностью центробежного насоса или вентилятора при питании приводного двигателя от ПЧ удастся снизить частоту напряжения на двигателе от 50 Гц хотя бы до 40 Гц, то в этом случае потребление энергии уменьшается почти в 2 раза, так как потребление пропорционально кубу отношения частот. В данном случае это - $(40/50)^3 = 0,512$.

Основной характеристикой центробежных насосов, вентиляторов и компрессоров является зависимость развиваемого напора H от производительности Q . Эти зависимости представляются, как правило, в виде графиков $Q-H$ (напорные характеристики) для

различных частот вращения механизма, которые для конкретного применения следует рассматривать совместно с характеристиками гидравлической линии.

На рис.2 представлены гидравлические характеристики линии при полностью и частично открытом дросселе, полученные экспериментальным путем.



На этом же графике приведены напорные характеристики насоса Д320-50 производительностью $Q = 320$ м³/ч при напоре $H = 50$ м вод. ст., соответствующие относительным частотам вращения 1,0 (50 Гц), 0,9 (45 Гц) и 0,8 (40 Гц). При построении этих характеристик учтено, что производительность насоса Q пропорциональна частоте вращения, а напор H пропорционален квадрату частоты вращения. Точки пересечения напорной характеристики с характеристиками линии определяют режим работы насоса совместно с магистралью. Переход на частотное управление, изменяющее напорную характеристику насоса, позволяет уйти от неэкономичного дроссельного регулирования производительности агрегата, при котором воздействие оказывается на форму характеристики линии за счет искусственного повышения ее гидродинамического сопротивления, обуславливающего нерациональные затраты мощности на его преодоление. При частотном управлении пересечения напорных характеристик при различных частотах вращения с характеристикой собственно линии (при полностью открытом дросселе) определяют требуемые величины напора и производительности насосного агрегата.

Главное преимущество перехода на частотное регулирование скорости электродвигателей заключается в том, что появляется возможность оптимизировать режим работы технологического оборудования. Частотное управление дает максимальный эффект энергосбережения и обеспечивает щадящий, ресурсосберегающий режим эксплуатации как технологического, так и электрического оборудования при значительно сниженных нагрузках и динамических воздействиях, которые, в свою очередь, способствуют продлению в несколько раз ресурса работы оборудования и снижению эксплуатационных затрат на ремонт.

Срок возврата (окупаемости) затрат на внедрение частотного управления зависит от ряда факторов:

- ☐ годовой продолжительности работы,
- ☐ глубины дроссельного регулирования и связанного с ним потенциала энергосбережения,
- ☐ тарифа на электроэнергию, который может значительно отличаться в зависимости от категории потребителя; наиболее низкий тариф на предприятиях, имеющих собственные генерирующие мощности, а наиболее высокий – на коммунальных предприятиях.

При одинаковом относительном снижении потребляемой энергии срок окупаемости будет меньше у агрегатов с большей единичной мощностью, т.к. удельная стоимость ПЧ падает с ростом мощности. Тем не менее, возможна ситуация с коротким сроком окупаемости и при сравнительно невысокой мощности агрегата, если установка (насосный агрегат и гидравлическая сеть) обладает высоким потенциалом энергосбережения. Например, в августе 2005 г. введен в автоматическом режиме насосный агрегат подачи технологической воды на заводе ячеистых бетонов в г. Белгород–Днестровском. Двигатель насоса мощностью 15 кВт переведен на частотное управление от ПЧ с целью стабилизации заданного уровня напора в магистрали по сигналу датчика давления при помощи ПИ регулятора, предусмотренного программным обеспечением ПЧ. По результатам фактического снижения потребляемой мощности, которое достигнуто при переходе на частотное управление, определен срок окупаемости уровне 0,7 – 0,8 года.

Дымососы котельных агрегатов относятся к одним из наиболее эффективных объектов применения частотного управления.

Следует обратить внимание на разброс мощностей приводных двигателей дымососов, установленных на однотипных котлах котельных промышленных и коммунальных предприятий. В табл. 1 содержится информация о мощности и номинальном напряжении двигателей дымососов, установленных на котлах типа ПТВМ-30м.

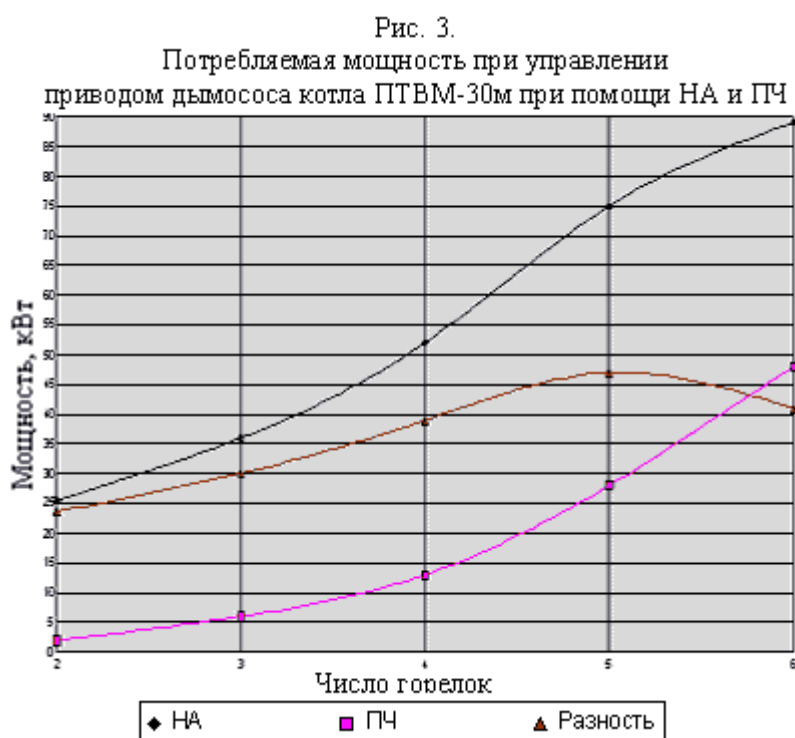
Таблица 1 – Мощности приводных двигателей, установленных на дымососах котлов ПТВМ-30м.

Место установки	Мощность двигателя, кВт	Номинальное напряжение, В
Городская котельная, г. Ильичевск	55	380
Городская котельная "Чубаевка", г. Одесса	90	380
Химический завод "Заря", котельный цех, г. Рубежное	90	380
Городская котельная "Шампанский переулк", г. Одесса	125	380
АО "Молдкартон", котельная, г. Кишинев	250	6000

Такой разброс номинальных мощностей двигателей дымососов можно объяснить тем, что часть котельных сооружалась методами "ударной" стройки, когда необходимое оборудование приходилось "доставать", причем его соответствие требуемым параметрам не проверялось.

Основной критерий выбора мощности двигателя – его возможность выдержать запуск высокоинерционного механизма дымососа, длительность которого может составлять 30 с и более при пусковом токе, превышающем номинальное значение в 7 раз. Поэтому мощности установленных двигателей оказываются завышенными в несколько раз относительно мощности, необходимой для рабочего режима поддержания заданного уровня разрежения в котле при различном числе работающих горелок.

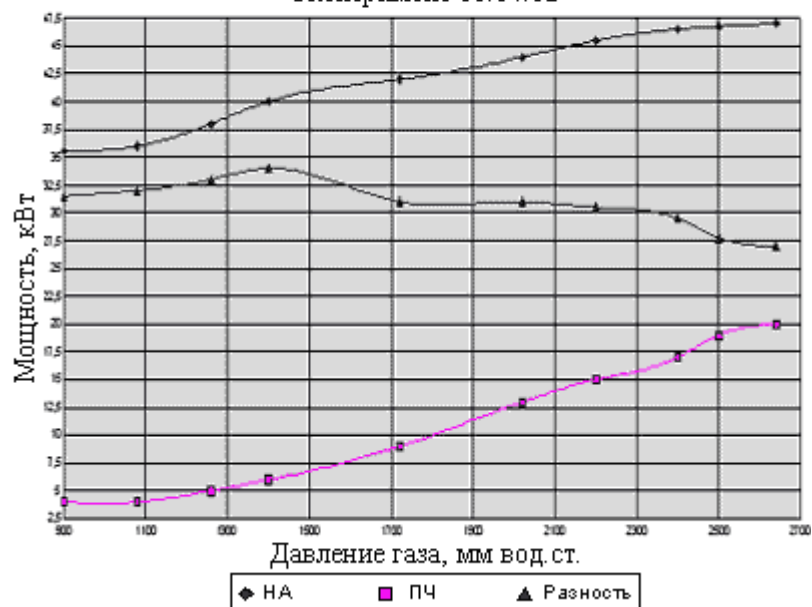
На рис. 3 представлены зависимости потребляемой мощности двигателем привода дымососа котла ПТВМ-30м (котельная "Шампанский переулок", г. Одесса) от числа работающих горелок при поддержании требуемого разрежения в зоне горения направляющим аппаратом (НА) с неизменной частотой вращения двигателя и путем изменения частоты вращения с помощью ПЧ мощностью 75 кВт.



Там же показана разность указанных мощностей, которую можно рассматривать в качестве оценки потенциала энергосбережения. Совпадающие итоги получены при проведении экспериментов на дымососах котельных в г.г. Ильичевск и Одесса (котельная "Чубаевка").

На рис.4 представлены результаты эксперимента, проведенного на приводе дымососа котла КВГМ-30 котельного цеха Одесского припортового завода, позволяющие подтвердить уровень энергосбережения при переходе на частотное управление приводом дымососа.

Рис. 4.
Потребляемая мощность при управлении
приводом дымососа котла КВГМ-30 при помощи НА и ПЧ.
Эксперимент 11.04.02



На графике потребляемая мощность показана в функции давления газа. Мощность двигателя дымососа – 75 кВт. Ранее на этом механизме был установлен двигатель мощностью 160 кВт и ввиду больших пусковых токов даже рассматривалось предложение заменить его на высоковольтный двигатель такой же мощности. По итогам проведенных исследований на приводе дымососа реализовано частотное управление с ПЧ мощностью 75 кВт.

Экспериментальное определение потенциала энергосбережения, проведенное на дымососах различных котлов, подтвердило, что при переходе на частотное управление срок возврата инвестиций на приобретение ПЧ не превышает 0,75 года. Исследования, проведенные на вентиляторах котельных установок, позволили определить, что потенциал энергосбережения на этих механизмах в 2-3 раза ниже, чем на приводе дымососов; поэтому срок возврата инвестиций на приобретение ПЧ для них составляет 1,5 – 2,5 года.

Вентиляторы технологических установок, использующие дроссельный способ регулирования, также обладают возможностью снижения потребляемой мощности и энергии при переходе на частотное управление.

В качестве примера рассмотрим вентиляционную установку грануляционной башни цеха производства карбамида. Установка состоит из 6 вентиляторов (5 в работе, 1 в резерве) с двигателями мощностью 55 кВт. Основной технологический параметр – скорость воздушного потока, способ регулирования – дроссельный, с помощью шиберов.

На первом этапе эксперимента измерены следующие технологические и электрические параметры режима дроссельного регулирования производительности вентилятора, при котором приводной двигатель получал питание непосредственно из сети. К ним относятся: степень открытия шиберов – 35 %, скорость воздушного потока – 12,2 м/с, мощность, потребляемая из сети – 42,3 кВт, ток двигателя – 94,4 А.

На втором этапе эксперимента выполнены исследования привода вентилятора совместно с ПЧ. Для регулируемого привода вентилятора при полностью открытом шибере проведены измерения скорости воздушного потока и потребляемой мощности в функции частоты питающего двигателя напряжения. Результаты измерений представлены в табл. 2. Интерполяция результатов измерений, подтвержденная экспериментально, показала, что

требуемая скорость воздушного потока, равная 12,2 м/с - такая же как и при дроссельном регулировании производительности, достигается при частоте 34,5 Гц. В этом режиме привод потребляемая мощность составит 21,3 кВт, в то время как при дроссельном регулировании потребляемая мощность равнялась 42,3 кВт. Благодаря частотному регулированию производительности вентилятора мощность, потребляемая двигателем из сети, снижается на 21 кВт.

Таблица 2 – Зависимости тока двигателя, потребляемой мощности и скорости воздушного потока от частоты напряжения на выходе ПЧ

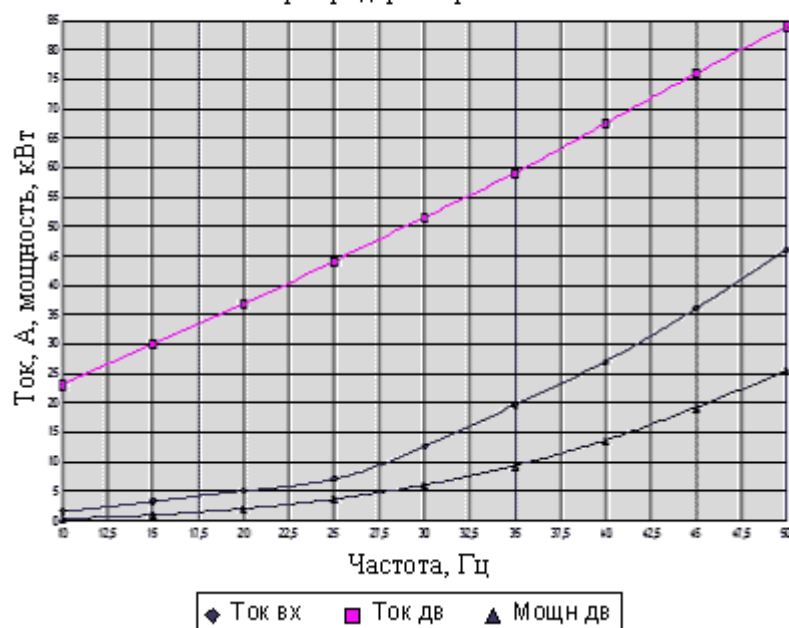
Частота напряжения на выходе ПЧ, Гц	Ток двигателя, А	Потребляемая двигателем мощность, кВт	Скорость воздушного потока, м/с
20	34	3,1	2
30	69	14,2	9,8
36	86	24,2	13
37	89	26,5	13,5
40	99	34	14,6
43,2	110	43	15,5

На многих промышленных предприятиях используются градирни для снижения температуры охлаждающей воды. В них ниспадающий поток воды охлаждается потоком воздуха, создаваемым вентилятором. Требуемая скорость потока воздуха и производительность вентилятора зависят от температуры воздуха и поэтому существенно меняются в течение года и даже суток. Как правило, вентиляторы градирни оснащены низкооборотными (тихоходными) приводными двигателями. Такие двигатели обладают низким коэффициентом мощности и, вследствие этого, являются потребителями преимущественно реактивной мощности, загружая питающую сеть реактивным током и поэтому заставляя производить затраты на компенсирующие устройства. При переходе на частотное управление отпадает необходимость в компенсирующих устройствах и появляется возможность сезонного регулирования производительности вентиляторов градирни.

Например, тихоходный двигатель мощностью $P_n=37$ кВт привода вентилятора градирни (синхронная частота вращения 250 об/мин) при коэффициентах мощности 0,65 и полезного действия 0,883 в номинальном режиме работы потребляет из сети полную мощность, равную 64,425 кВА, в том числе активную мощность 41,88 кВт и реактивную мощность 48,96 кВАр. Этим мощностям соответствуют номинальные величины токов: статора 98 А, его активной составляющей 63,7 А и реактивной (намагничивающей) составляющей 74,5 А.

На рис. 5 показаны экспериментально снятые зависимости изменения тока, потребляемого из сети, тока и мощности двигателя привода градирни в функции частоты при питании его от ПЧ с частотами от 10 до 50 Гц.

Рис. 5.
Ток, потребляемый из сети, ток и мощность двигателя
Вентилятора градирни при питании от ПЧ



Отметим существенно меньшую величину тока, потребляемого ПЧ из сети, относительно величины тока при той же частоте, протекающего от ПЧ к двигателю. Данное различие обусловлено тем, что из сети потребляется только активная составляющая тока, а от ПЧ к двигателю поступает полный ток, содержащий как намагничивающую, так и активную составляющие.

Рассмотрим варианты решения различной сезонной загрузки вентиляторов градирни.

При питании двигателей градирни непосредственно от сети возможно только ступенчатое управление производительностью градирни путем изменения количества одновременно работающих вентиляторов. Если блок градирни состоит из 4 вентиляторов, то это изменение может происходить в пределах от 1 до 4.

Например, анализ зимней загрузки двигателей градирни цеха по производству карбамида позволил установить следующее: потребляемая из сети мощность одним двигателем составляет 70-75 кВт (номинальная мощность двигателя 75 кВт), токи находятся в пределах 187-191 А (при номинальном значении 191 А). Два вентилятора, работающие с номинальной частотой вращения, дают избыточное охлаждение воды, а один вентилятор – недостаточное охлаждение.

При проведении эксперимента в январе 2001 г. с преобразователем частоты на одном из двух работающих двигателей градирни требуемый охлаждающий эффект был получен при работе двигателя с частотой 40 Гц, при которой привод потреблял из сети 38 кВт вместо 72 кВт, т.е. снижение потребляемой мощности в зимнем режиме составила 34 кВт.

В летний период при высоких температурах воздуха должны работать все 4 вентилятора. Так как наибольший эффект от перехода на частотное управление достигается в зимний период, а в весенний и осенний периоды лишь частичный эффект, срок окупаемости затрат на приобретение ПЧ для вентиляторов градирни находится на уровне полутора лет.

Существует еще одна проблема, связанная с эксплуатацией двигателей градирни, которые работают в условиях 100 % влажности. Установлено, что в зимний период нарушается изоляция отключенных от сети двигателей. Применение ПЧ заниженной мощности позволяет снять эту проблему. Для указанных выше двигателей достаточно установить ПЧ со

сравнительно небольшой номинальной мощностью (15 кВт), определяемой фактической величиной тока двигателя при частоте 10 Гц, для работы двигателя в зимний период на пониженной скорости при протекании по его обмоткам тока, величина которого достаточна для предотвращения проникновения влаги в них. В летний период двигатель питается непосредственно от сети. При таком подходе срок окупаемости инвестиций на приобретение ПЧ для сезонной работы - один зимний период. Использование ПЧ позволит также осуществлять реверс привода вентилятора, периодически необходимый для устранения обледенения лопастей вентилятора в зимний период.

Существенная экономия энергии достигается и на других механизмах, работающих в продолжительном режиме. Например, на приводе поршневого компрессора с двигателем мощностью 160 кВт (г. Бровары, Киевский завод алюминиевых конструкций) установка преобразователя частоты и введение системы автоматического регулирования давления сжатого воздуха при помощи ПИ регулятора преобразователя позволили достичь 33 % экономии энергии. Аналогичная компрессорная установка модернизирована с ПЧ 160 кВт в августе 2005 г. (порт "Южный"); за полгода эксплуатации определено снижение энергопотребления на 28 %. После модернизации устранены пусковые токи двигателя, вызывавшие провалы напряжения в сети и неблагоприятно сказывавшиеся на других потребителях, в частности, на работе компьютерного оборудования.