

Инновационные решения в области
энергосбережения и улучшения качества
регулирования технологического процесса
в нефтеперерабатывающей
промышленности

ООО «Бюро промышленной автоматизации»

Автор: Ведущий специалист
ООО «Бюро промышленной автоматизации»

Масагутов Р.И.

Соавтор: Технический директор
ОАО «Неклиновскнефтепродукт»

Вишняков А.С.

Москва, 2010 г.

Содержание

1. Информация о компании ООО «Бюро промышленной автоматизации» ...	3
2. АСУТП установки по переработке нефтепродуктов	6
2.1 Описание технологии производства.....	7
2.2 Описание схемы структурной КТС	10
3. Обоснованность применения частотного регулирования привода насосного агрегата.....	12
3.1 Сравнение гидравлических характеристик с использованием дросселирования и частотного регулирования привода насоса.....	12
3.2 КПД насосного агрегата с частотным регулированием	16
3.3 Сравнение переходных характеристик процесса с использованием дроссельного регулирования и частотного регулирования насоса	17
3.4 Дополнительные меры, повышающие энергоэффективность работы предприятия	18
3.5 Преимущества использования частотного регулирования привода насосного агрегата..	19
4. Подведение итогов. Оценка экономического эффекта.....	20

1. Информация о компании ООО «Бюро промышленной автоматизации»

ООО «Бюро промышленной автоматизации» – инжиниринговая компания, поставщик решений в области систем автоматизации.

Наша компания специализируется на предоставлении полного комплекса услуг по автоматизации технологических процессов, оперативного управления.

Сотрудники компании имеют большой опыт работ по проектированию, разработке и вводу в эксплуатацию систем АСУТП, СПАЗ, АСУЭ, АСКУЭ и АСОДУ, с использованием оборудования ведущих мировых производителей средств промышленной автоматизации.

За время деятельности изготовлено большое количество систем для следующих отраслей промышленности: энергетика, нефтедобыча и нефтепереработка, нефтехимия, транспортировка нефти. Нашими заказчиками являются: ведущие промышленные предприятия, системные интеграторы, поставщики средств промышленной автоматизации.

На настоящий момент компания является авторизованным партнером мировых лидеров по производству средств промышленной автоматизации, электротехнического оборудования и систем электропитания: Rockwell Automation, Siemens, Invensys Systems, Rittal, Phoenix-Contact, Gutor Electronics, GM International, APC-MGE, Schneider Electric.

Основными видами деятельности ООО «Бюро промышленной автоматизации» являются:

- Проведение обследования объектов, средств автоматизации и систем управления.
- Разработка ТЭО и технического задания.
- Проведение предпроектных и проектных работ.

- Выбор и поставка оборудования, приборов КИП и систем управления.
- Шефмонтаж, пуско-наладка и ввод в эксплуатацию.
- Сервисное обслуживание оборудования и программного обеспечения.
- Обучение оперативного и эксплуатационного персонала.
- Экспертиза промышленной безопасности проектной документации и технических решений.
- Изготовление и внедрение АСУ ТП (производство сборочных, монтажных, шеф-монтажных и пусконаладочных работ).
- Мониторинг состояния существующих систем электропитания;
- Проектирование систем оперативного постоянного тока и щитов собственных нужд (данные системы сертифицированы к применению на подстанциях 110...750 кВ ОАО «ФСК ЕЭС»).
- Проектирование промышленных систем бесперебойного электропитания технологических объектов, средств связи, средств контроля состояния силовых трансформаторов.
- Работы по реконструкции силовой части РП, РТП, ТП, РУ.

Компания имеет собственный сборочный участок по производству щитов (шкафов), который специализируется на разработке, изготовлении и комплектации щитов электрооборудования и автоматики. На каждый щит выпускается паспорт и вся необходимая нормативно-техническая документация. При необходимости наши инженеры могут подготовить полноценный комплект проектной и конструкторской документации.

ООО «Бюро промышленной автоматизации» может взять на себя функции Генерального Подрядчика и поставить системы автоматизации и управления любой сложности «под ключ».

На сегодняшний день компания занимает прочные позиции на рынке создания и внедрения автоматизированных систем управления, основываясь на предоставлении полного комплекса услуг по автоматизации: технологических процессов, оперативного управления, административно хозяйственной деятельности.

Основные показатели роста ООО «БПА»:

- Рост оборота по сравнению с 2007 г. - 67%.
- Штат в 2006 году – 10 человек, в 2007 году – 25 человек.
- Штат в 2008 году – более 45 человек. Из них, квалифицированных инженеров – более 30 человек.
- В 2007-2008 гг. открыты 4 региональных представительства (филиалы) компании в гг. Нижний Новгород, Альметьевск (Республика Татарстан), Волжский (Волгоградская область), Ростов-на-Дону.
- В 2009 году открыто представительство компании в г. Омске.
- В 2009 году создана дочерняя компания в г. Баку, Азербайджан.

Компания уверенно смотрит в будущее и демонстрирует устойчивый ежегодный рост, расширение и углубление отраслевого присутствия, расширение спектра предлагаемых продуктов и услуг, при постоянном увеличении масштабов и сложности реализуемых проектов.

2. АСУТП установки по переработке нефтепродуктов

В мае 2009 года, специалистами нашей компании была внедрена система АСУТП (РСУ и ПАЗ) установки по переработке нефтепродуктов на объекте ОАО «Неклиновскнефтепродукт», с. Покровка, Неклиновского района, Ростовской области.

История данного предприятия начинается с 1970-х годов, когда там располагался только товарно-резервуарный парк для приема, хранения и отгрузки нефтепродуктов. В 1990-х годах была установлена и введена в действие установка по переработке нефтепродуктов. Мощность установки, а также программно-аппаратная база не отвечали необходимым запросам и современным требованиям. Таким образом, была осуществлена модернизация установки с заменой программно-технического комплекса нижнего, среднего и верхнего уровня АСУТП.

Установка состоит из следующих технологических блоков:

- Блока управления (операторной)
- Блока ректификации при атмосферном давлении
- Блока печей нагрева отбензиненного сырья
- Насосного блока



Рис. 1. Фотография установки по переработке нефтепродуктов, ОАО «Неклиновскнефтепродукт»

В качестве сырья используется смесь нефтяных углеводородов технологических. Смеси технологические получают смешением природных нефтей различных месторождений Российской Федерации и газовых конденсатов различных месторождений.

В результате переработки, получают следующие продукты:

- Бензин прямогонный
- Дистиллят технологический
- Дизельное топливо
- Мазут топочный

На данный момент, мощность установки по подготовленному сырью составляет 120 тыс. т/год. Режим работы – непрерывный.

2.1 Описание технологии производства

На установке по переработке нефтепродуктов приняты следующие основные принципы технологии:

- прямой нагрев отбензиненного сырья в печи;
- фракционирование углеводородного сырья в ректификационных насадочных колонах;
- использование рекуперативного теплообмена для предварительного подогрева нефтепродуктов;
- доохлаждение вырабатываемых на установке продуктов в теплообменниках предварительного нагрева сырья и в аппаратах воздушного охлаждения.

Технологический процесс переработки углеводородного сырья проводится без подачи водяного пара. В кубовую емкость КЕ1 первой ректификационной колонны для более полного отбора легких фракций вводится горячая струя.

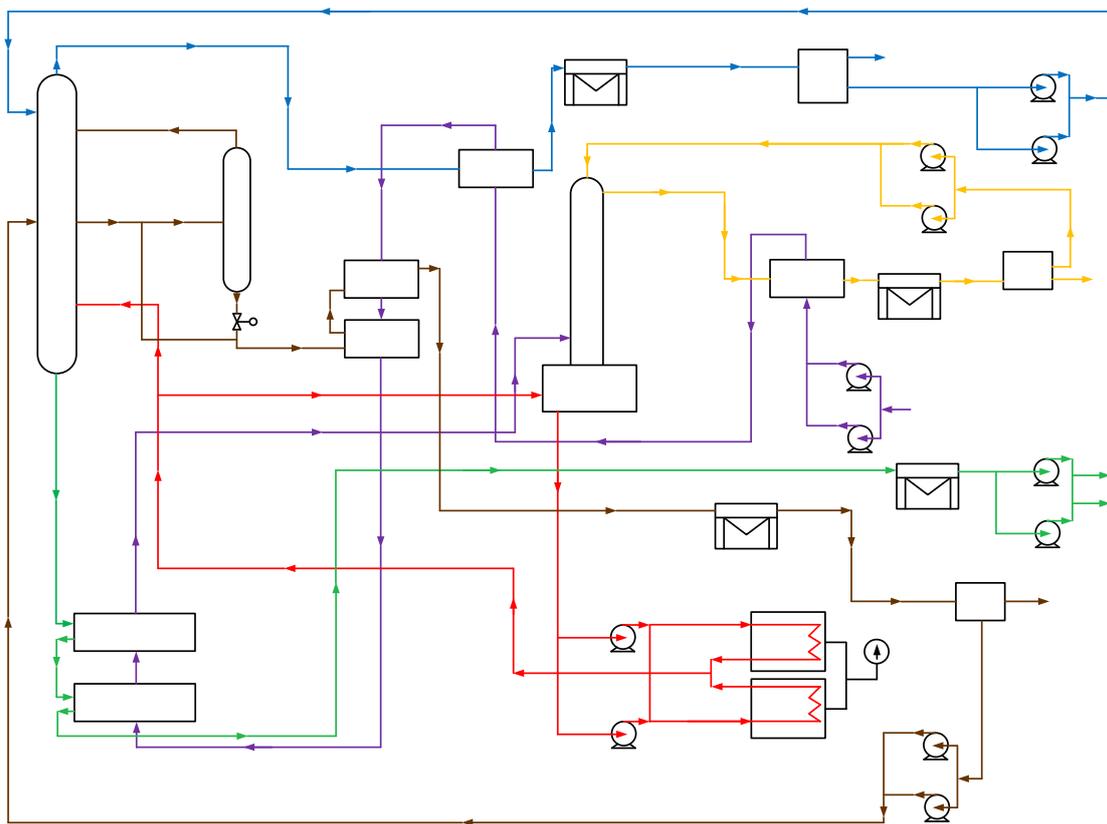


Рис. 2. Упрощенная схема технологическая установки по переработке нефтепродуктов

Смесь сырья из резервуарного парка поступает на прием сырьевого насоса Н-1/1,2 самотеком.

Сырье от насоса Н-1/1,2 поступает в рекуперативные теплообменники: Т1 (бензиновый), Т2 (дистиллятный), Т3 и Т4 (топлива дизельного), Т5 и Т6 (мазут), где нагревается за счет тепла уходящих продуктов, и с температурой 160-175 °С, поступает в колонну К-1. В этой колонне происходит отделение бензиновой фракции, которая поступает в теплообменник – рекуператор Т1, где охлаждается, затем окончательно охлаждается до температуры 35-40 °С в аппарате воздушного охлаждения АВО1 и поступает в буферную емкость СБ.

Из буферной емкости СБ бензин прямогонный забирается насосом Н-3/1,2 и подается в ректификационную колонну К1 на орошение. Также из емкости СБ бензин прямогонный насосами откачивается с установки в существующий товарно-резервуарный парк.

Отбензиненное сырье (кубовый остаток) из кубовой емкости КЕ1 насосами Н2/1,2 подается в печь нагрева отбензиненного сырья П-1, П-2. Нагретое в печи П-1, П-2 сырье, выходя из печи, делится на два потока: первый поток возвращается в куб колонны К-1 в виде горячей струи для поддержания температуры в кубовой емкости КЕ1, второй поток поступает в ректификационную колонну К3 для отгона дизельной и дистиллятной фракций.. В печах П-1 и П-2, для корректной работы горелки, установлен дымосос.

С верха колонны К3 по шлемовой трубе пары дистиллятной фракции направляются в теплообменник Т2 и аппарат воздушного охлаждения АВО4, в результате чего охлаждается до температуры 40⁰С. После АВО4 дистиллят технологический (керосин) попадает в буферную емкость СК. Из буферной емкости СК дистиллят технологический (керосин) насосом Н4/1,2 подается в верхнюю часть колонны К3 в качестве флегмы (дистиллятное орошение). Также из буферной емкости СК дистиллят технологический (керосин) насосами направляется в существующий резервуарный парк.

Дизельная фракция, с остатками дистиллятной фракции (керосин), из колонны К3 поступает в ректификационную колонну К4, где происходит отделение дистиллятных фракций (керосин). В колонне К4 дистиллятные фракции (керосин) выходят с верхней части колонны К4 и направляются в колонну К3.

Для поддержания температуры в кубовой части колонны К4 предусмотрен змеевик, в который направляется мазут с К3 для отпаривания дизельной фракций (получение нужной вспышки).

Дизельное топливо из колонны К4 проходит теплообменники – рекуператоры Т3 и Т4, где отдает тепло сырью. Далее дизельное топливо проходит аппарат воздушного охлаждения АВО3, где охлаждается до температуры 40⁰С. После АВО3 дизельное топливо направляется в буферную емкость СД. Из буферной емкости СД дизельное топливо насосами Н5/1,2

подается в ректификационную колонну К3 в качестве орошения (дизельное орошение).

Также из буферной емкости СД дизельное топливо насосами направляется в существующий товарно-резервуарный парк.

Кубовый остаток из колонны К3 (мазут) проходит через змеевик К4, далее теплообменники - рекуператоры Т6 и Т5, где отдает свое тепло сырью, затем аппарат воздушного охлаждения АВО2 и далее поступает на прием насоса Н6/1,2. Насосом Н6/1,2 мазут откачивается с установки в товарно-резервуарный парк, а также направляется в топливный бак печи ТБ.

Некондиционные продукты с установки, направляются в существующий резервуарный парк, откуда направляются на повторную переработку.

На данной установке используется частотное регулирование приводов насосных агрегатов (Н1/1,2; Н2/1,2; Н3/1,2; Н4/1,2; Н5/1,2; Н6/1,2; дымосос В-1) для поддержания технологических параметров на заданном уровне, взамен классического регулирования методом дросселирования.



Рис. 3. Фотография насосной – слева, фотография шкафа электросилового – справа

2.2 Описание схемы структурной КТС

Структурно АСУТП разделена на три уровня:

- Верхний уровень – уровень операторной

- Средний уровень – уровень контроллерного оборудования
- Нижний уровень – уровень полевого оборудования

На верхнем уровне расположены АРМ оператора и АРМ инженера.

Средний уровень в себя включает программируемые логические контроллеры, модули ввода-вывода, искробезопасные барьеры, аппаратуру передачи данных, интерфейсные кабели, частотные преобразователи и коммутационную аппаратуру, шкафы для размещения оборудования среднего уровня.

На нижнем уровне расположены приборы КИП, вторичные преобразователи, исполнительные механизмы, кабели связи и управления, соединительные коробки и т.д.

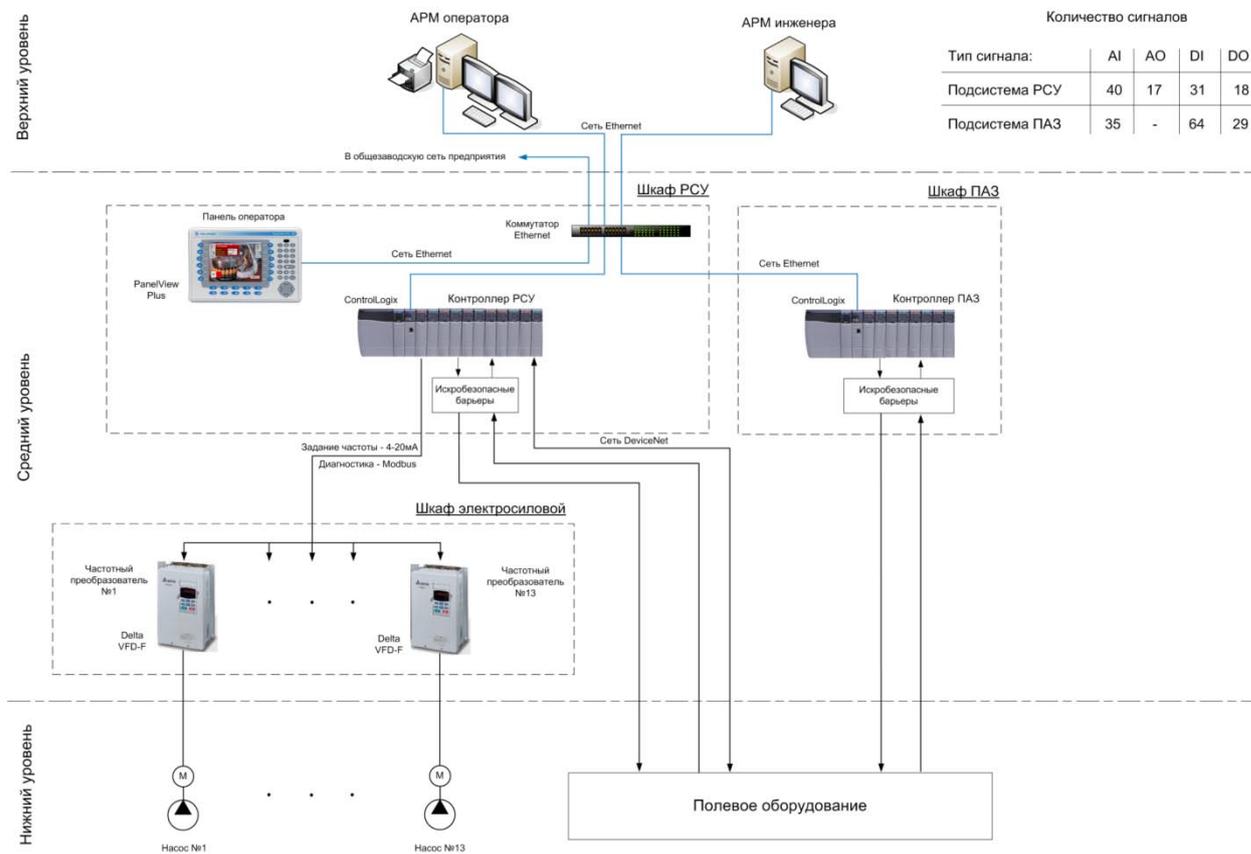


Рис. 3. Схема структурная КТС

Алгоритм управления (ПИД-регулятор) частотным преобразователем находится в контроллере РСУ. Данный контроллер, получая сигнал с датчика температуры (если регулируется температура), выдает управляющее воздействие в виде токового сигнала 4-20мА (задание частоты) на частотный

преобразователь. Частотный преобразователь, в свою очередь, преобразует токовый сигнал 4-20мА в питающее напряжение двигателя насосного агрегата с определенной частотой (от 0 до 50 Гц). Максимальной частоте (50Гц) питающего напряжения электродвигателя соответствуют его максимально возможные обороты. Таким образом, имеется возможность плавно регулировать обороты электродвигателя насосного агрегата и, соответственно, расход целевого компонента на участке трубопровода.

3. Обоснованность применения частотного регулирования привода насосного агрегата

Классический метод управления насосных установок предполагает дросселирование напорных линий (установка регулирующих клапанов), по какому-либо техническому параметру (например, уровню в емкости). Насосные агрегаты в этом случае выбираются исходя из неких расчётных характеристик (как правило, с запасом по производительности) и постоянно функционируют с постоянной частотой вращения, без учета изменяющихся расходов. То есть простыми словами, при минимуме расхода, насосы продолжают работу с постоянной номинальной (максимальной) частотой вращения, создавая избыточное давление в сети, при этом бесполезно расходуется значительное количество электроэнергии.

3.1 Сравнение гидравлических характеристик с использованием дросселирования и частотного регулирования привода насоса

Рассмотрим работу технологического процесса, с точки зрения изменения расхода в сети – Q . Для этого воспользуемся известными Q-H характеристиками для насосных агрегатов и сети.

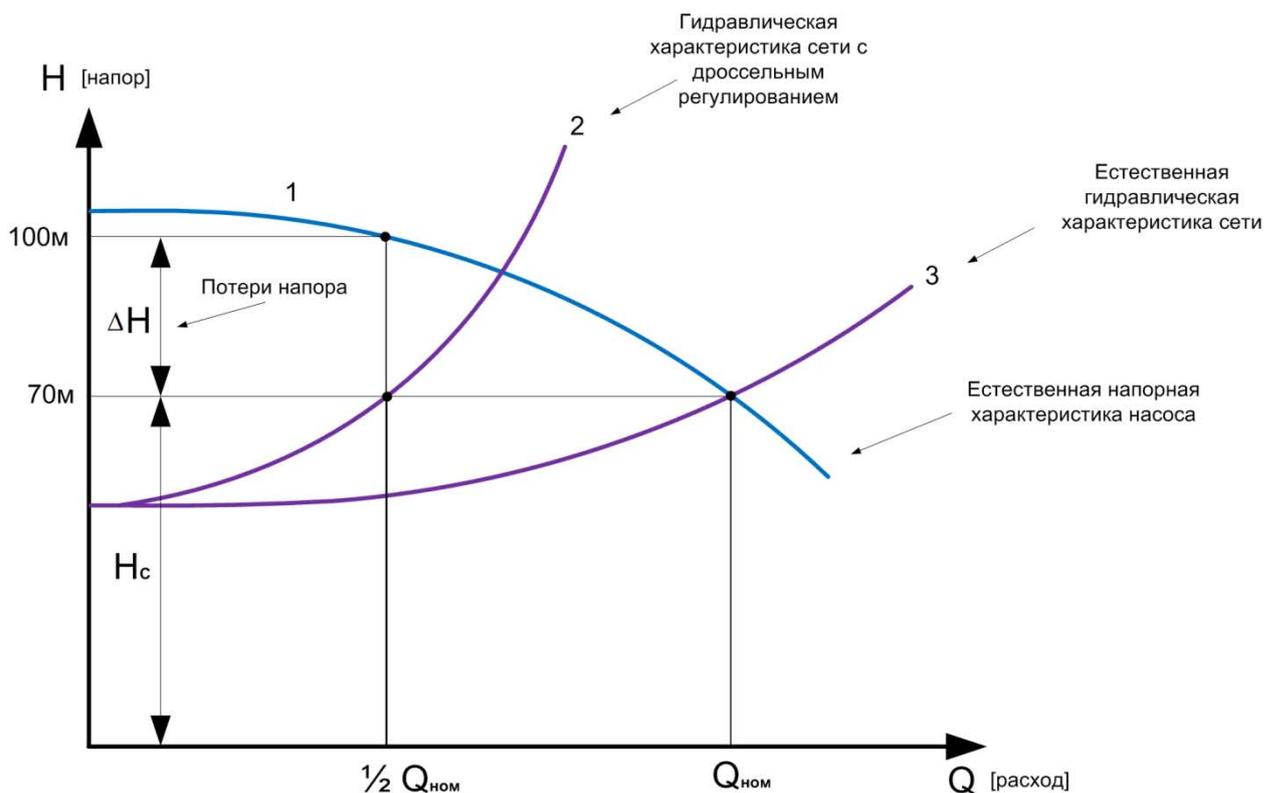


Рис. 4. Характеристики насосного агрегата и сети с дроссельным регулированием

Кривая 1 соответствует напорной характеристике насосного агрегата, кривая 2 – гидравлической характеристике сети с дроссельным регулированием, а кривая 3 – естественной гидравлической характеристике сети (без дроссельного регулирования). Точка пересечения напорной характеристики насоса и естественной гидравлической характеристики сети – является идеальной расчетной точкой совместной работы насосного агрегата и сети (без дроссельного регулирования), и соответствует расходу $Q_{ном}$.

Классическое регулирование расходом целевого компонента заключается в установке регулирующего клапана (дроссельное регулирование) на участке трубопровода, после насоса.

Данный клапан создает дополнительное гидравлическое сопротивление, и позволяют обеспечить требуемый расход в сетевом трубопроводе. При использовании регулирующих клапанов происходит распределение напора на элементах системы. Это распределение напора показано на рис. 4, где ΔH — падение напора на дроссельном элементе.

Для поддержания заданного расхода в сетевом трубопроводе приходится изменять гидравлическое сопротивление регулирующего элемента. При этом общая гидравлическая характеристика будет иметь более крутой вид. Величина ΔH с таким регулированием неуклонно увеличивается. Таким образом, чем «глубже» производится дросселирование регулирующим элементом, тем больше энергетических потерь имеет весь технологический процесс.

На величину потерь при дроссельном регулировании влияет не только регулирующий элемент: чаще всего на этапе проектирования выбирается насосный агрегат с определённым запасом напора, а при замене насосных агрегатов, новое оборудование может иметь несколько завышенные напорные характеристики. Кроме того, диапазон изменения входных давлений (перед всасывающим патрубком насосного агрегата) оказывает влияние на величину давления за насосным агрегатом. Все эти обстоятельства приводят к тому, что потери энергии в ходе технологического процесса становятся достаточно большими, достигающими 45 и более процентов от номинальной мощности агрегата.

Для решения задачи минимизации потерь, связанных с регулированием давления в сети, необходимо исключить дополнительные гидравлические сопротивления на участке от насосного агрегата до сетевого трубопровода, то есть необходимо полностью открыть всю запорно-регулирующую арматуру.

Это можно сделать, если процесс регулирования расхода передать насосному агрегату. Теория работы нагнетателей (насосов и вентиляторов) доказывает, что изменение частоты вращения привода нагнетателя изменяет его напорные характеристики. Кроме того, напор, создаваемый нагнетателем, пропорционален квадрату частоты вращения агрегата. Изменение напорных характеристик насосного агрегата при изменении частоты вращения иллюстрирует рис. 5, на котором кривая 1 соответствует номинальной (при

номинальной частоте вращения привода) напорной характеристике, а кривые 2-4 — напорным характеристикам при пониженной частоте вращения.

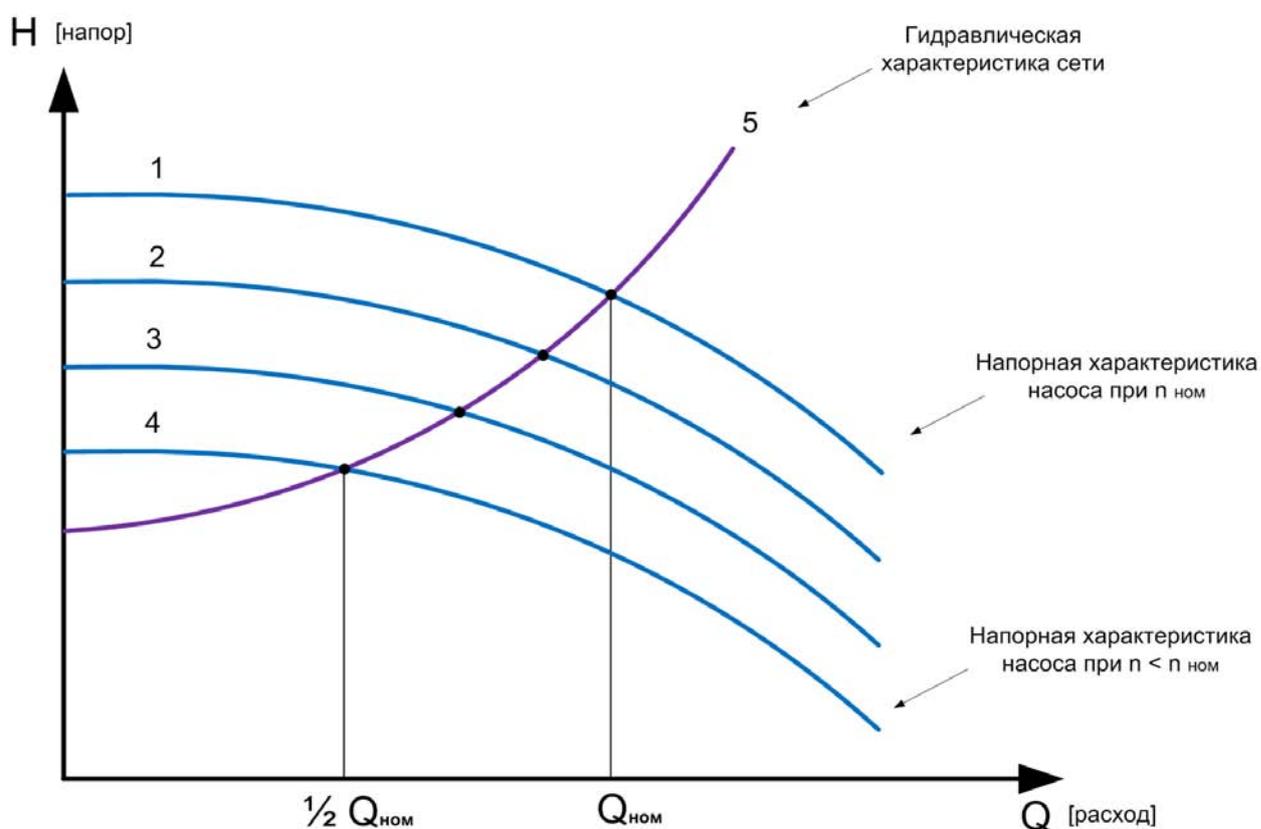


Рис. 5. Характеристики насосного агрегата и сети с частотным регулированием

В данном случае, насосный агрегат и сеть работают на идеальной расчетной точке совместной работы. Таким образом, отсутствуют дополнительные гидравлические потери.

Организовав работу привода насосного агрегата таким образом, чтобы он при изменении параметров технологического процесса изменял частоту вращения, то в итоге можно без существенных потерь энергии регулировать расход целевого компонента. При таком способе регулирования исключаются потери напора (нет дроссельных элементов), а значит, и потери гидравлической энергии.

3.2 КПД насосного агрегата с частотным регулированием

Способ регулирования расхода в сети путем изменения частоты вращения привода насосного агрегата снижает энергопотребление ещё и по другой причине. Собственно, насос, как устройство преобразования энергии, имеет свой коэффициент полезного действия — отношение механической энергии, приложенной к валу, к гидравлической энергии, получаемой в напорном трубопроводе насосного агрегата. Характер изменения коэффициента полезного действия насоса η в зависимости от расхода жидкости Q при различных частотах вращения представлен на рис. 6.

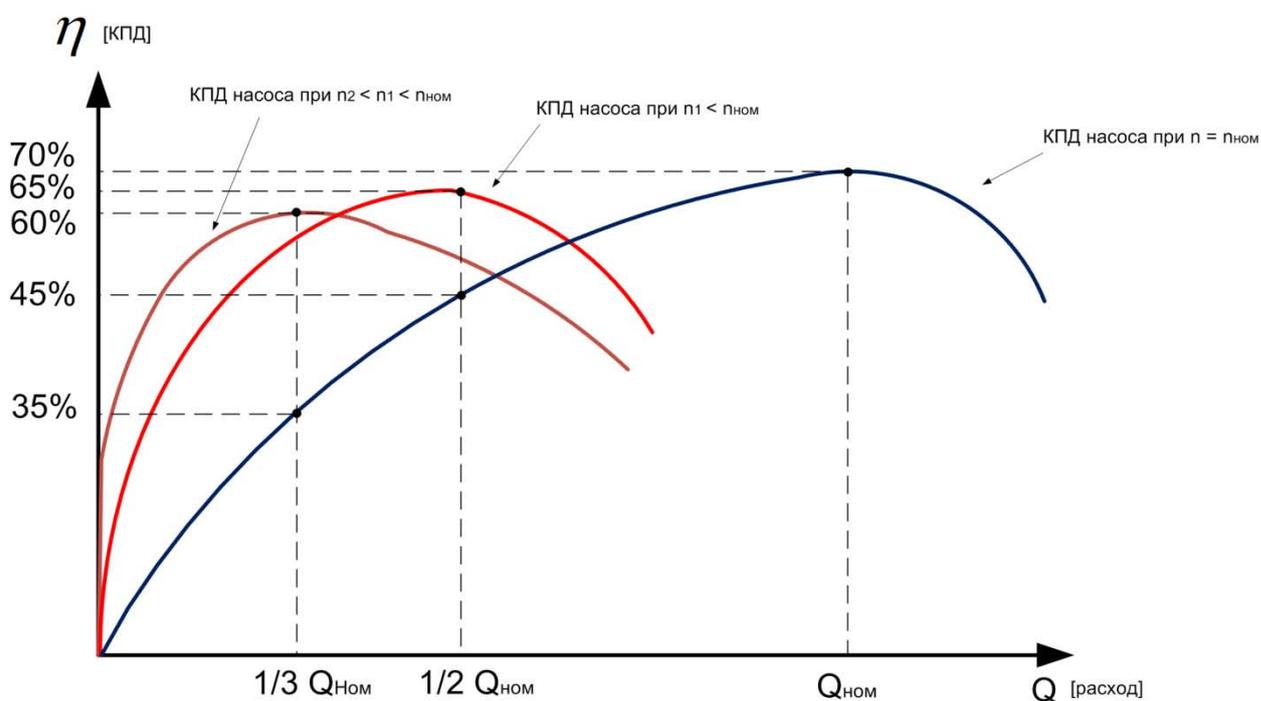


Рис. 6. Изменение КПД насосного агрегата с частотным регулированием при изменении производительности

Анализ требуемого изменения частоты насосного агрегата при изменении расхода в сети показывает, что с уменьшением расхода требуется снижение частоты вращения. Если рассмотреть работу насоса для расхода меньше номинального ($1/3 Q_{ном}$ и $1/2 Q_{ном}$), то для этих режимов рационально работать на пониженной частоте вращения. В этом случае КПД насоса выше, чем при работе на номинальной частоте вращения. Таким

образом, снижение частоты вращения, в соответствии с технологической нагрузкой, позволяет не только экономить потребляемую энергию на исключении гидравлических потерь, но и получить экономический эффект за счет повышения коэффициента полезного действия самого насоса – преобразования механической энергии в гидравлическую.

3.3 Сравнение переходных характеристик процесса с использованием дроссельного регулирования и частотного регулирования насоса

Современная АСУТП наряду с обеспечением высокого уровня надежности, также должна обеспечивать процесс автоматического регулирования при определенных показателях качества процесса управления. На рис. 7 представлены сравнительные переходные характеристики процесса.

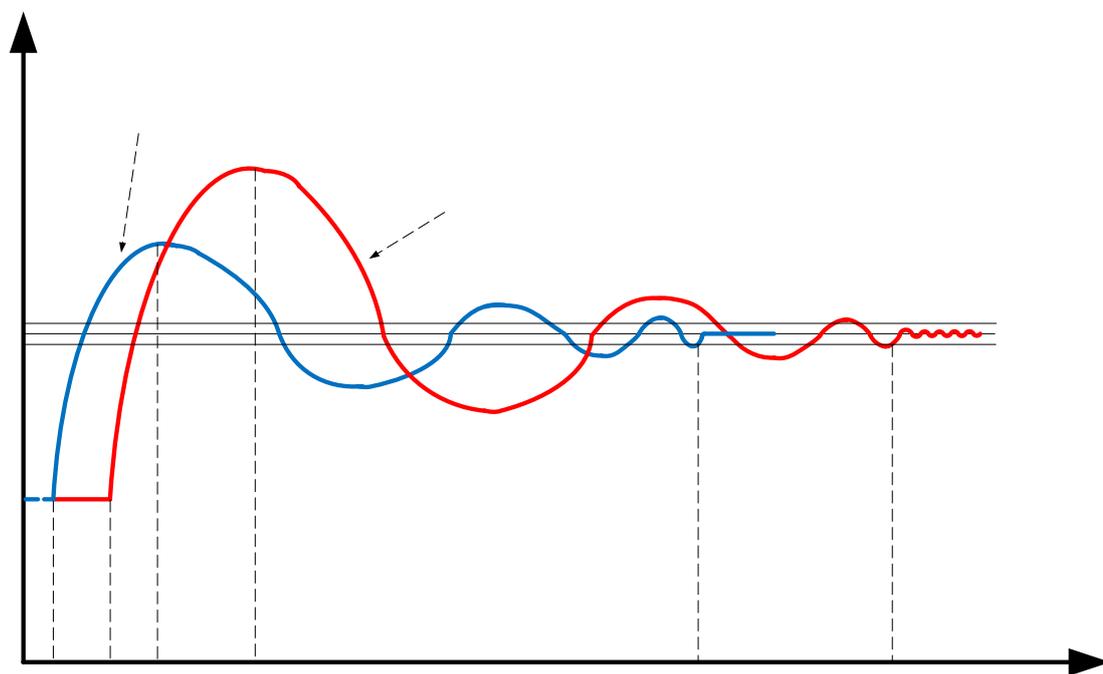


Рис. 7. Переходные характеристики процесса с регулирующим клапаном и с использованием частотного регулирования привода насоса

Нельзя не отметить особенности показателей качества переходного процесса при использовании частотного регулирования привода насоса:

- Высокая точность регулирования
- Малое перерегулирование
- Малое время регулирования
- Малое время запаздывания

Специалистами предприятия (ОАО «Неклиновскнефтепродукт») была определена прямая зависимость между уставками и качеством получаемых продуктов. Например, повышение температуры верха колонны К-3 на 1°C, путем регулирования расхода насоса Н4, приводит к повышению температуры вспышки дизельного топлива на 2°C. Естественно, выведение определенных взаимосвязей зависит от конкретной аппаратной реализации процесса переработки.

3.4 Дополнительные меры, повышающие энергоэффективность работы предприятия

Наряду с использованием частотного регулирования насосных агрегатов, в рамках модернизации предприятия, были произведены следующие действия:

- Установка энергосберегающих ламп освещения (потребляемая мощность упала с 12600 Вт до 4000Вт)
- Замена старой горелки на новую (потребление мазута снизилось с 23кг до 17кг на 1 тонну перерабатываемого сырья; исключили дополнительный обогреватель воздуха с двигателем 7кВт)
- Реконструкция колонны К1 и К2
- Установка аварийной дизельной электростанции 250кВА
- Установка ИБП на 80кВА, поддерживающий основные критичные процессы (Трехкратное отключение электроэнергии окупает данный ИБП)

- Установка качественных уровнемеров, датчиков давления, датчиков температуры и т.д.

3.5 Преимущества использования частотного регулирования привода насосного агрегата

- Улучшение показателей качества процесса управления
- Уменьшение энергопотребления
- Широкий диапазон регулирования
- Высокий КПД насосного агрегата
- Отсутствие дополнительных механических устройств на участке трубопровода
- Простота обслуживания
- Увеличение ресурса насосного агрегата и трубопроводов (плавный пуск, отсутствие перегрузок)
- Уменьшение эксплуатационных затрат
- Цена частотного преобразователя гораздо ниже цены регулирующего клапана

4. Подведение итогов. Оценка экономического эффекта

Ввиду того, что модернизация установки была проведена в мае 2009 года, то целесообразно сравнивать потребление электроэнергии за отчетный период май-декабрь за 2008 и 2009 года.

Специалистами ОАО «Неклиновскнефтепродукт» была подготовлена сводная информация об экономии электроэнергии предприятия за отчетный период май-декабрь (за 2008 и 2009 год):

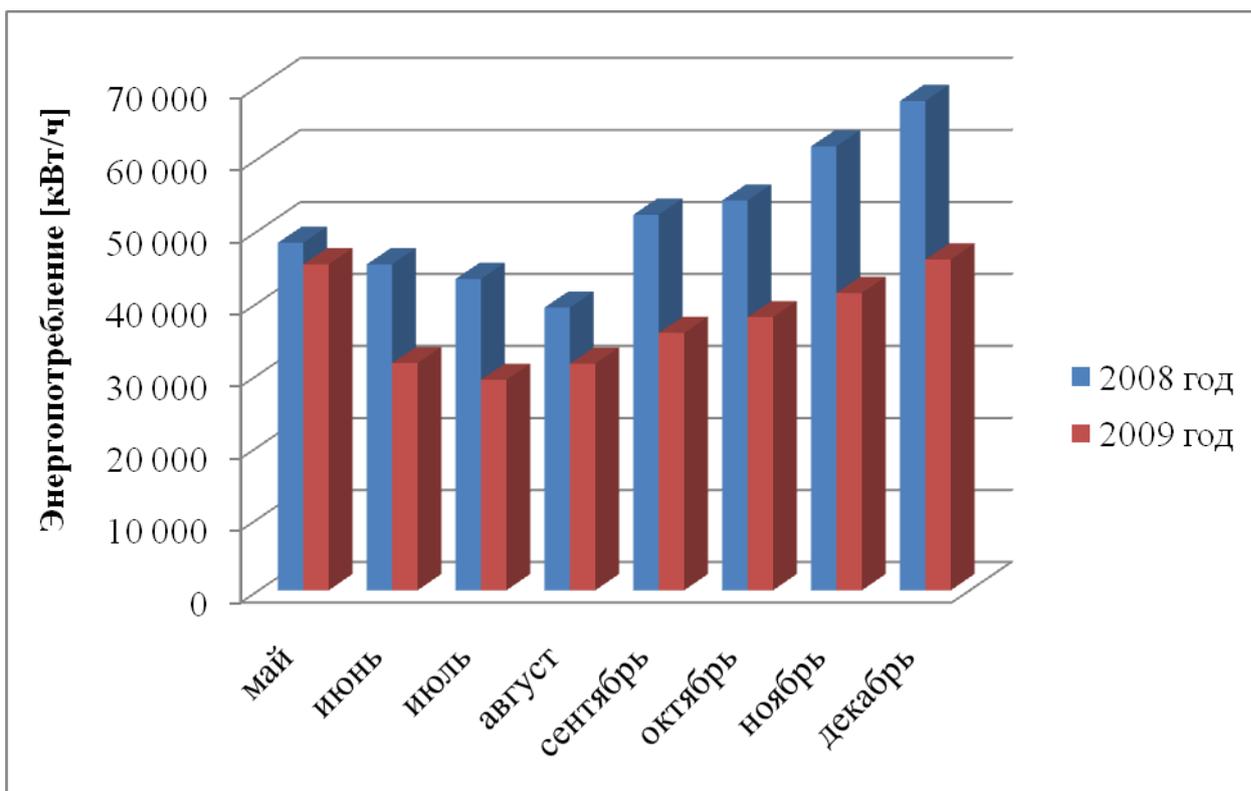


Рис. 8. Энергопотребление [кВт/ч] предприятием за отчетный период май-декабрь (2008 и 2009 года)

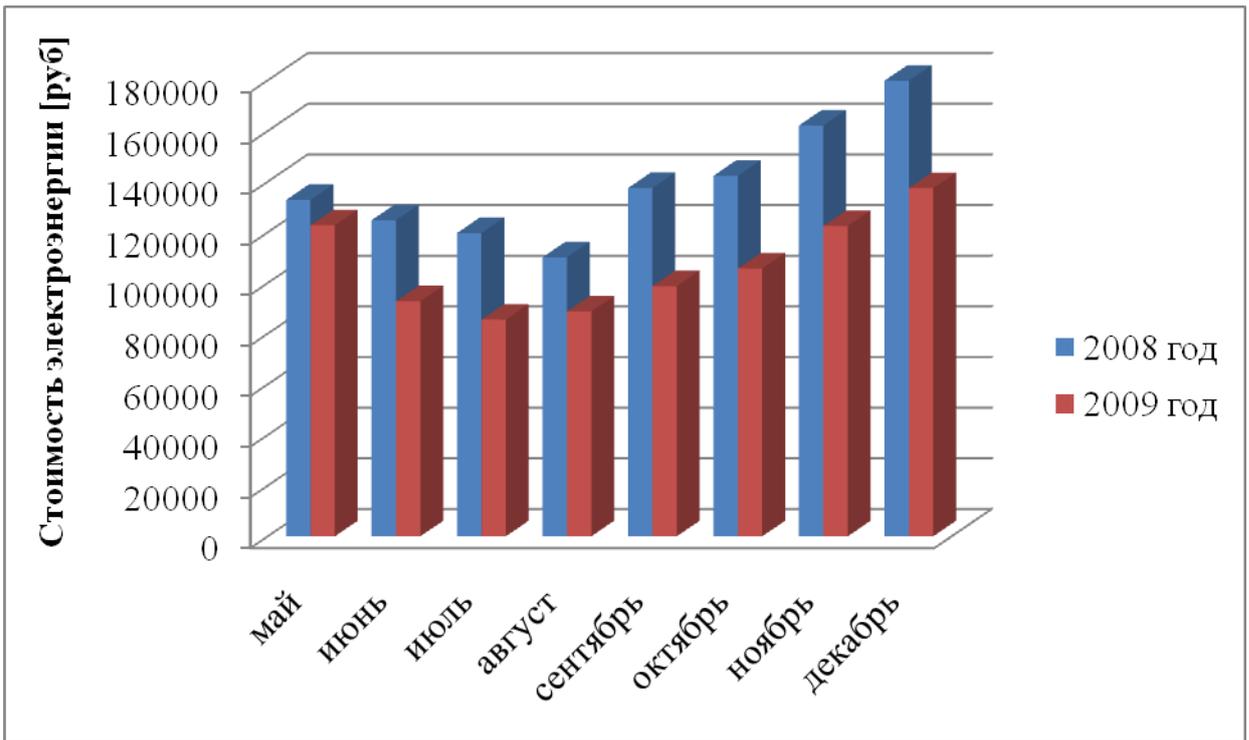


Рис. 9. Затраты на электроэнергию за отчетный период май-декабрь, ежемесячно (2008 и 2009 года)

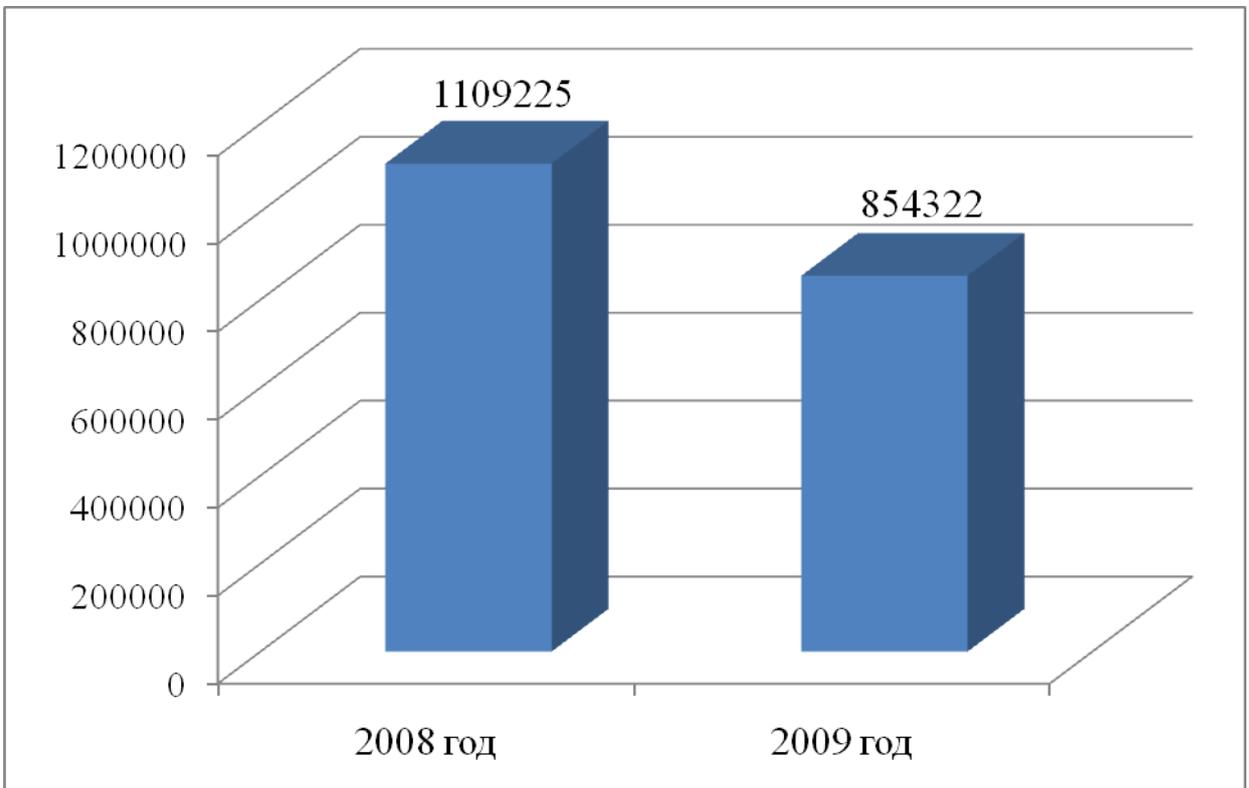


Рис. 10. Суммарные затраты на электроэнергию за отчетный период май-декабрь (2008 и 2009 года)

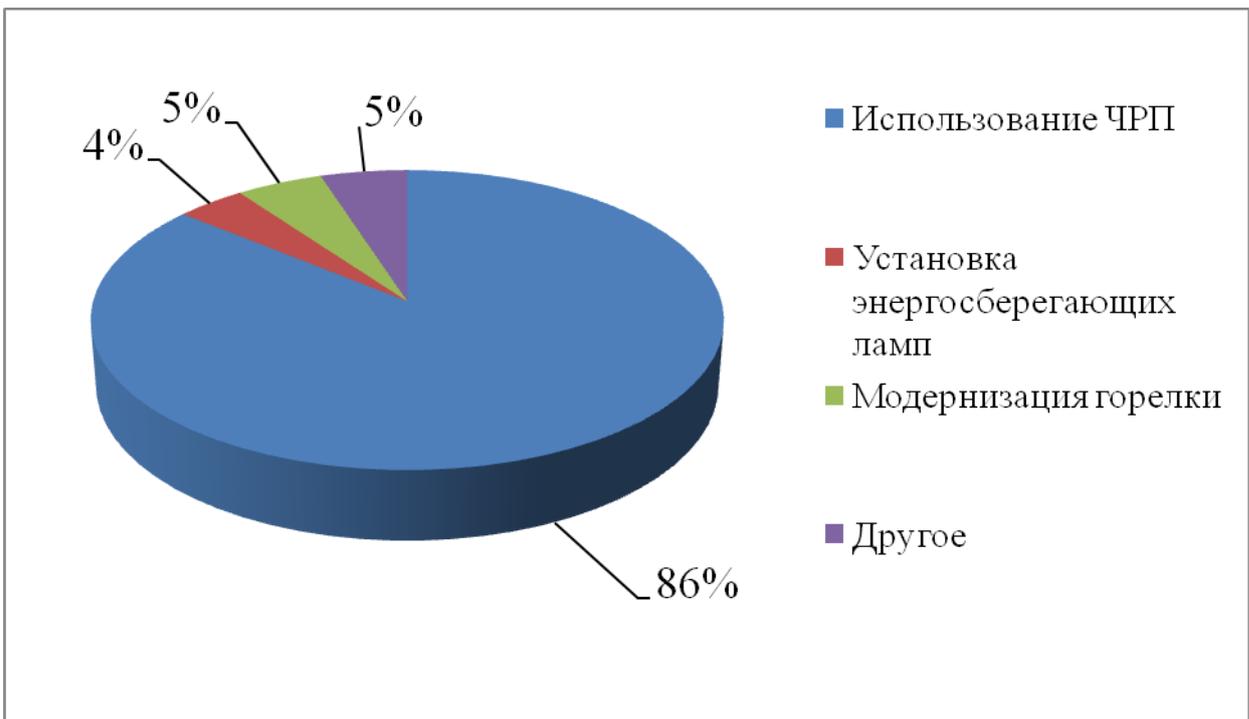


Рис. 11. Фактор значимости действий, направленных на энергосбережение

Таким образом, экономия на электроэнергии за период май-декабрь 2009 года составляет более 250 т.руб. Стоимость одного преобразователя частоты, применяемого на данном предприятии, составляет порядка 15 т.руб. В общей сложности, на данном предприятии установлено 13 преобразователей частоты. Можно с уверенностью утверждать, что за данный отчетный период (май-декабрь 2009 года) они себя полностью окупили.

Подводя итог, можно сделать ряд выводов. Применение частотно-регулируемых приводов в технологических процессах позволяет значительно снизить энергопотребление технологического оборудования и улучшить качество регулирования технологических процессов. Перед началом внедрения рекомендуется провести технико-экономическое обоснование, позволяющее определить не только сроки окупаемости от внедрения, но и правильно организовать технологический процесс с учетом возможностей приводов с частотным регулированием. Целесообразно использование преобразователей частоты не в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, а как составляющие комплексных системных решений

с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Такие решения позволят получить дополнительный эффект, который заведомо больше простой экономии электрической энергии.